Chapitre I

STRUCTURE DU COSMOS

I - INTRODUCTION

1. – Quelques définitions

- L’Univers est l’ensemble de tout ce qui existe. On l'appelle également le Cosmos ou l'Espace lorsqu'on parle du milieu extraterrestre.

- La Cosmologie est l’étude de la structure, de l’origine et de l’évolution de l’Univers.

- L’Astronomie est la science des corps célestes. (céleste est un mot qui est relatif au ciel).

- L‘Astrophysique est l'étude des propriétés physiques des corps célestes

2. – L'échelle des distances pour mesurer l'Univers

a) - ***L'année lumière notée al***

c'est la distance parcourue en un an par la lumière.

1 al = 9,46 .10^{12} km

b) - ***L'unité astronomique notée UA***

C'est la distance entre la Terre et le Soleil

1 UA = 150.000.000 km environ.

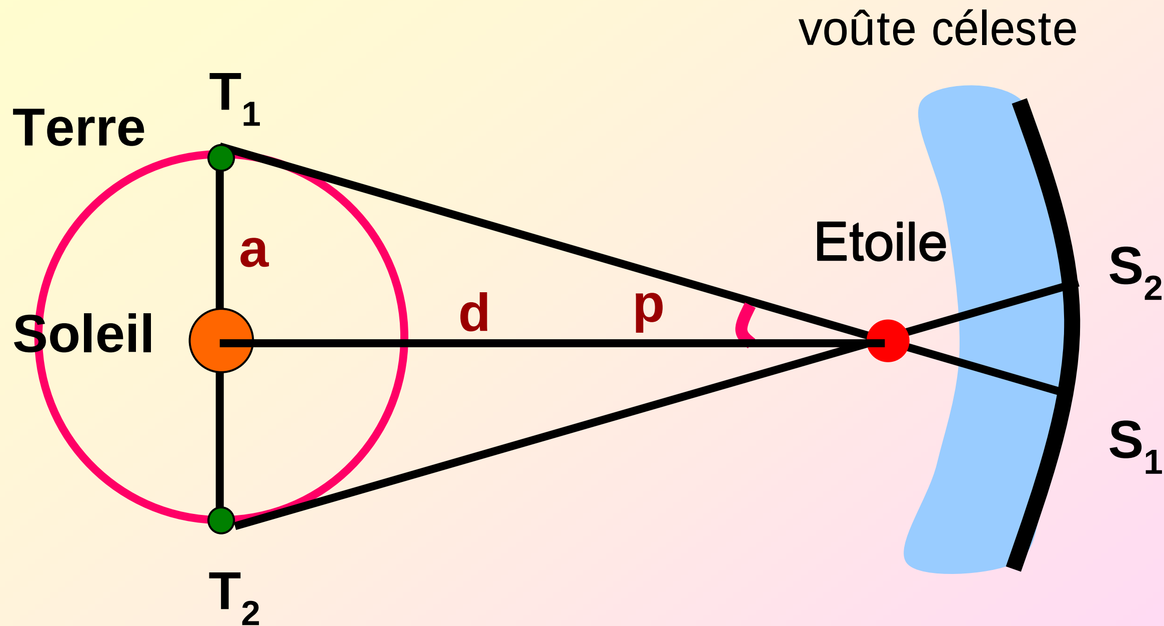
c) – ***Le parsec noté pc***

Il correspond à la distance, d'un astre (depuis le Soleil) dont la parallaxe annuelle correspond à 1 seconde.

1 parsec = 206.265 UA = 3,23 al = 3100 milliards de km

1Mpc = 1 mégaparsec = 1 million pc

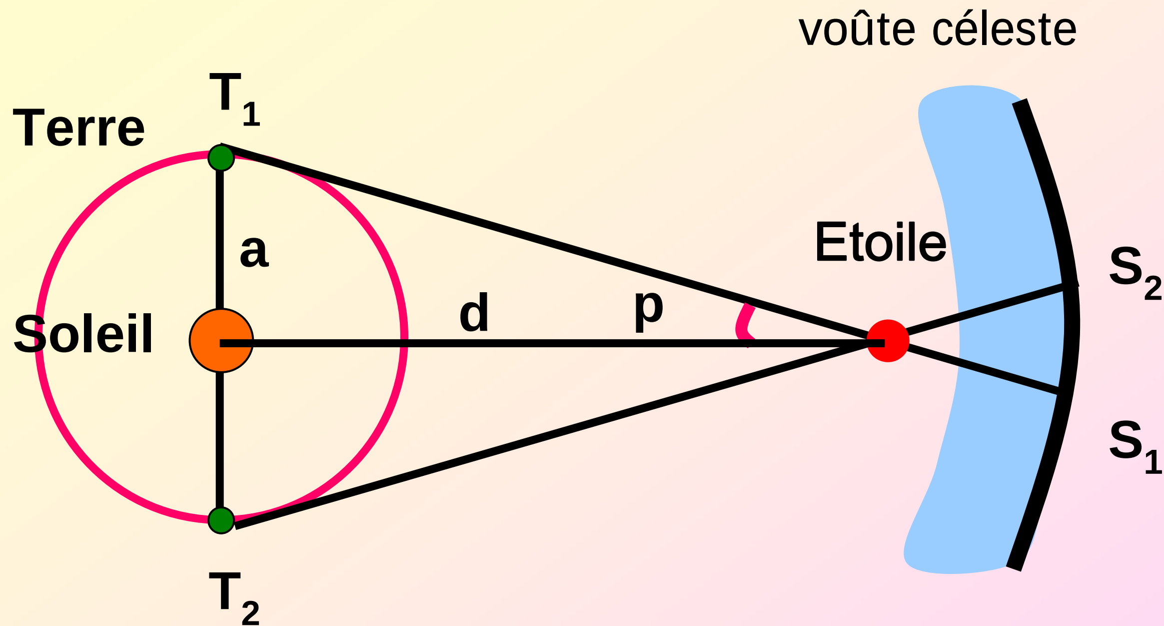
fig.1 : la parallaxe annuelle



a = le rayon moyen de l’orbite terrestre = 1 UA
d = distance recherchée en parsec
p = la parallaxe annuelle en radians = l’angle sous lequel on voit (*a*) lorsqu’un observateur sur Terre se trouve à deux moments de l'année dans T1 et T2 en regardent un étoile dont on veut connaître sa distance d.

L’étoile se projette sur le fond céleste en deux points différents S et S'.

fig.1 : la parallaxe annuelle



a = le rayon moyen de l'orbite terrestre = 1 UA
d = distance recherchée en parsec
p = la parallaxe annuelle en radians

$$p = a / d$$

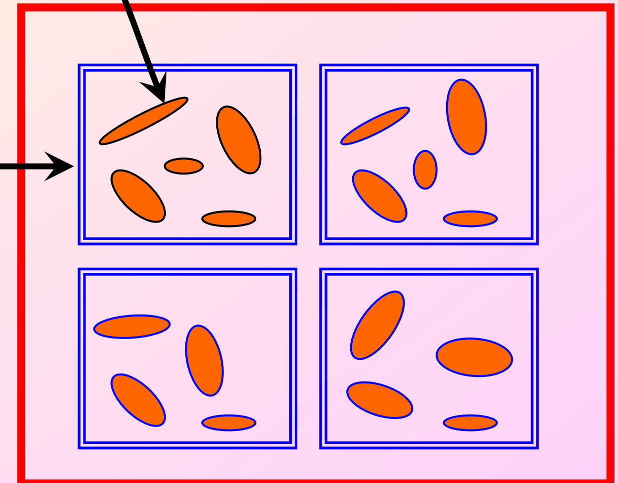
Pour p = 1'' = 1/60'= 1/3600° = 1/206.265 rad et a = 1 UA, on déduit que :

1 parsec = 206.265 UA = 3,23 al = 3100 milliards de km

3.- La hiérarchie de l'Univers

Une ***galaxie*** est une entité de base de l'Univers ; elle est constituée de milliards d'*étoiles*.

fig.2 : hiérarchie de l'Univers



Un ***amas*** est constitué de milliards *galaxies*

Un ***superamas*** est constitué de quelques à plusieurs milliers d'*amas*

Notre *galaxie*, notée *la Galaxie* et appelée *la Voie Lactée*, n'est qu'une parmi les milliards de galaxies ; elle constituée de milliard d'étoiles. Le Soleil est l'une de ces d'étoiles

Fig.3 : La voix lactée vue du haut

Soleil

Fig.3 : notre Galaxie vue de profil

Bulbe galactique

30 000 années-lumières

100 000 années-lumières

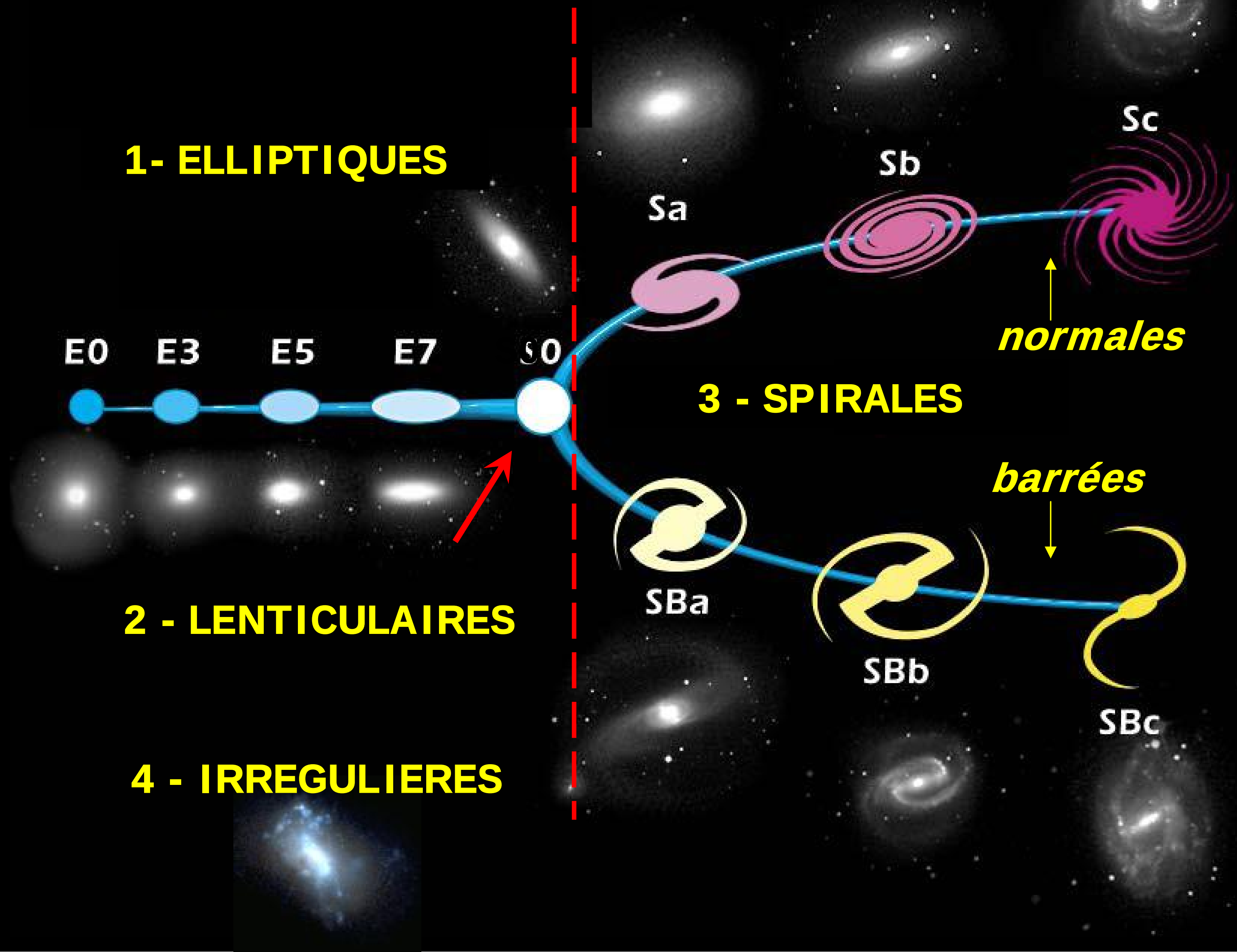
Disque galactique

Trou noir

Soleil


Fig.4 : Trou noir

Fig.4 : Les différents types de galaxies



Quelques exemples de galaxies

Les Galaxies en spirales normales (S)



Sb :M 81



Sb : NGC 4414



Sc (NGC 1232)

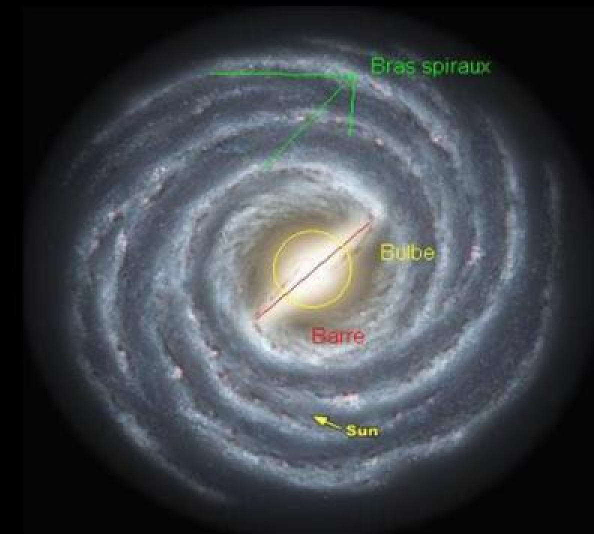
Les Galaxies en spirales barrées (SB)



M 101 SBb



SBa M 83



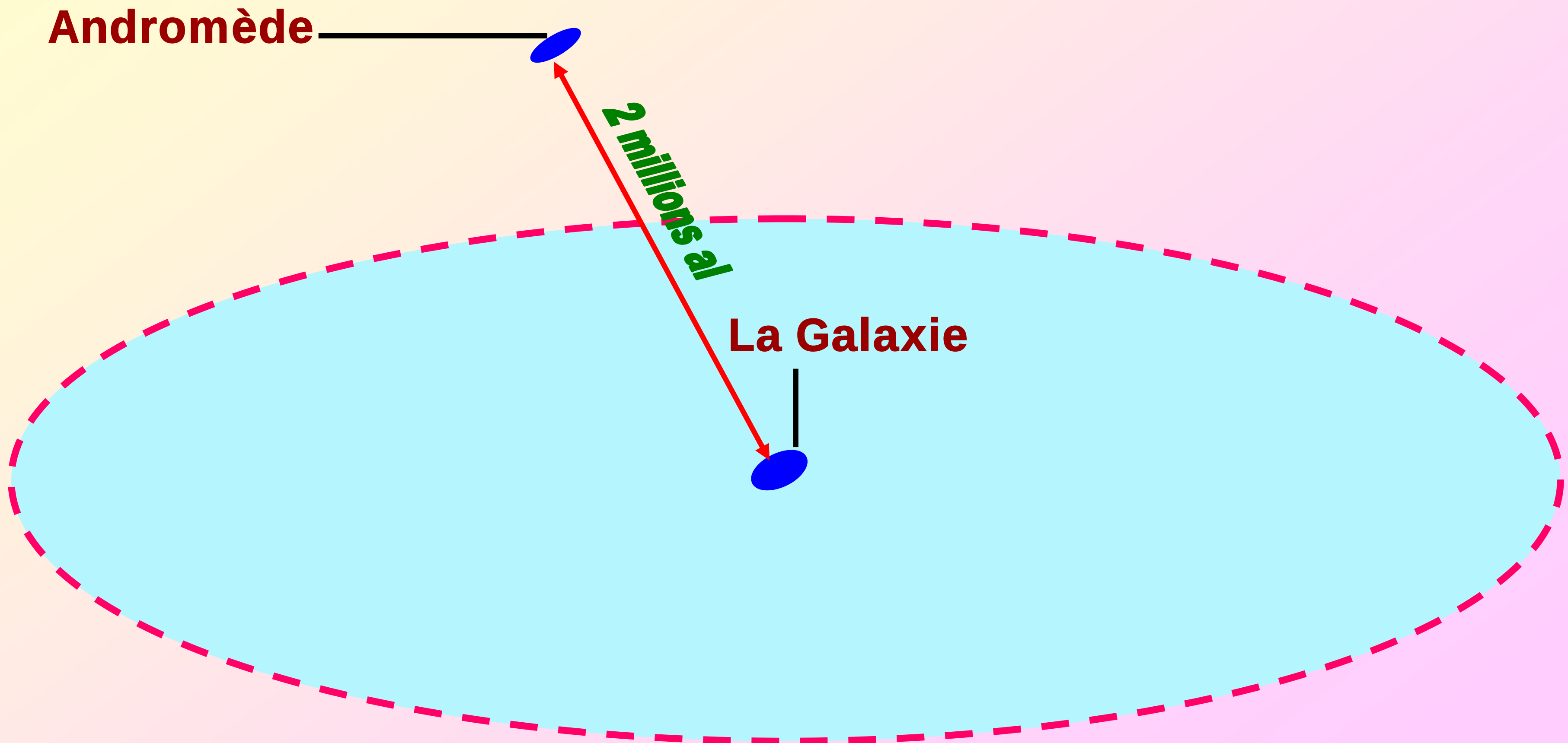
La Voie Lactée

Amas de galaxies




Collision entre deux galaxies

Fig. 6 : Groupe Local



Galaxies Amas local



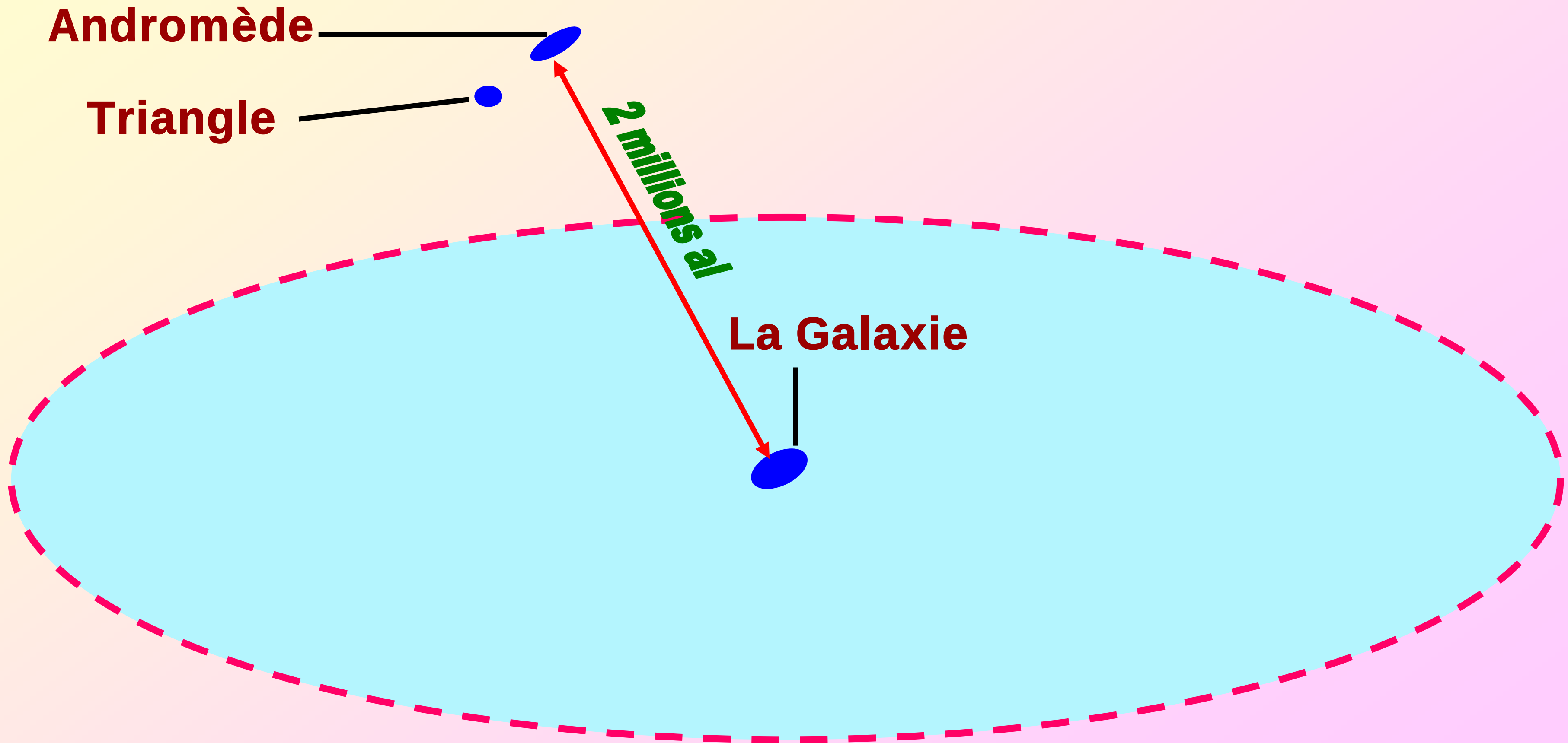
M33, galaxie du triangle



Andromeda Galaxy
Visible light image (John Gleason)

M31, galaxie d'Andromède = galaxie spirale de type Sb.
- Bulbe lumineux à grand nombre de vieilles d'étoiles.
- Bras spiraux composés principalement de gaz, poussières et d'étoiles jeunes.

Fig. 6 : Groupe Local



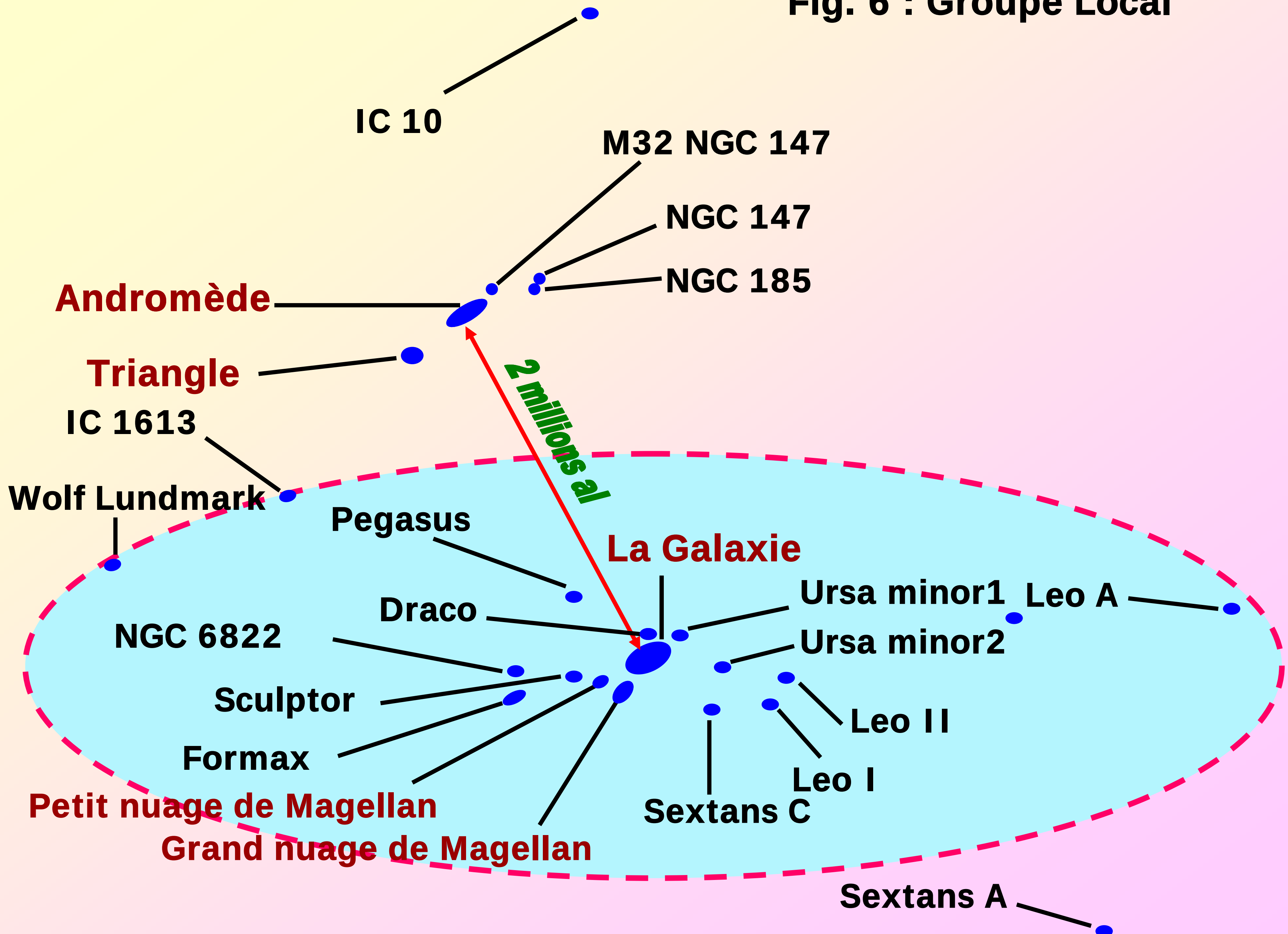
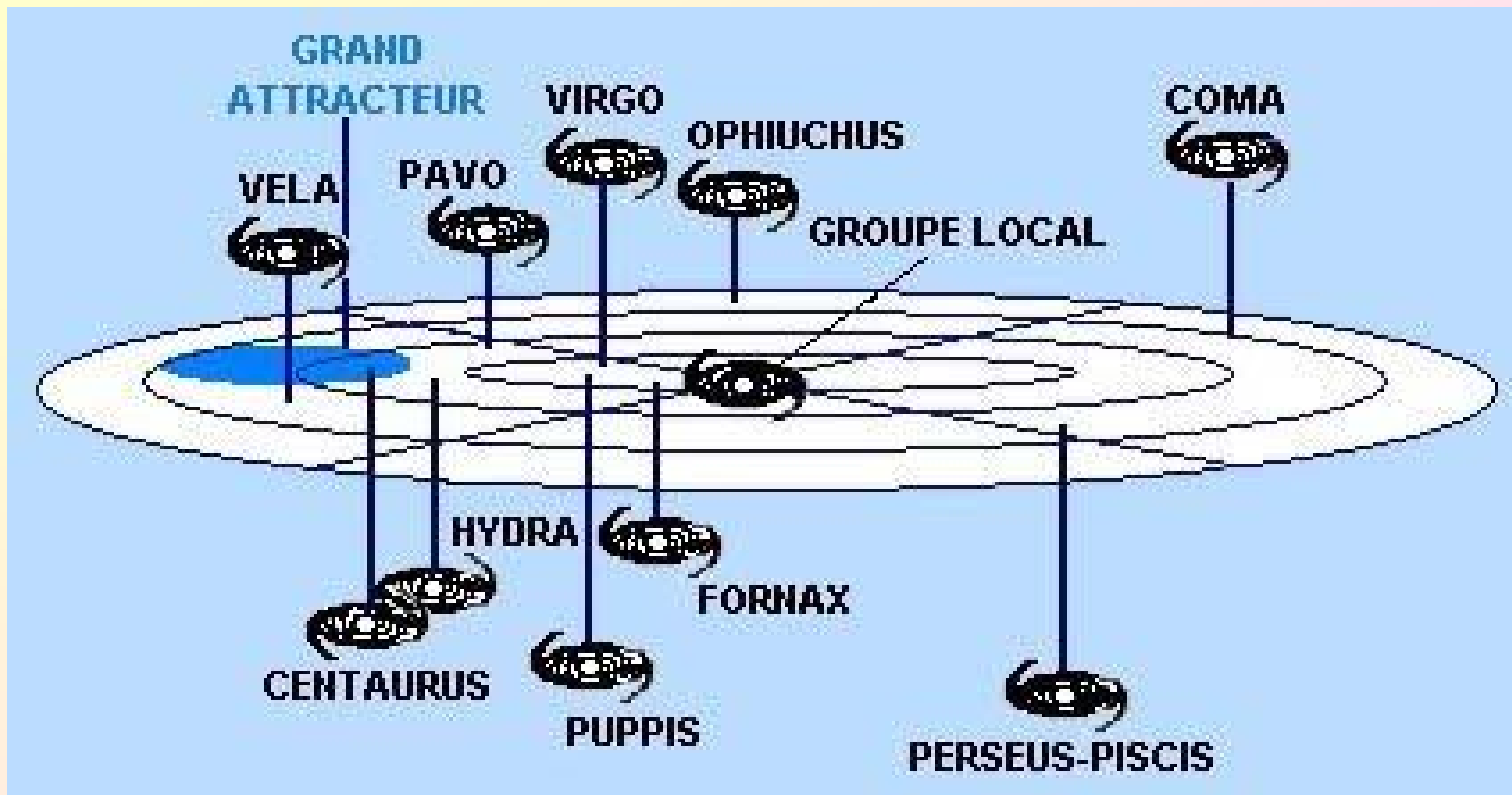

Fig. 6 : Groupe Local
IC 10
M32 NGC 147
NGC 147
NGC 185
Andromède
Triangle
2 millions al
IC 1613
Wolf Lundmark
Pegasus
La Galaxie
Ursa minor1
Leo A
Draco
NGC 6822
Ursa minor2
Sculptor
Leo II
Formax
Leo I
Petit nuage de Magellan
Sextans C
Grand nuage de Magellan
Sextans A

Fig. 7 : Superamas Local



3. – L'éloignement des galaxies : l’expansion de l’Univers

L'effet Doppler-Fizeau

Le son est plus aigu quand une voiture s'approche d’un observateur et plus grave quand la voiture s'éloigne.

son aigu = ondes sonores comprimées = longueur d'onde est plus courte

son grave = ondes sonores décomprimées = longueur d'onde est plus longue

Ce qui est vrai pour le son est vrai pour la lumière

l'aigu au bleu et le grave correspond au rouge

L'effet Doppler sur la lumière est caractérisé par un décalage vers le rouge des rais spectrales
Ce décalage Z permet de calculer la vitesse radiale des galaxies v à partir de la la formule suivante:

$$Z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$

La loi de Hubble

$$V = H*d$$

V= **la vitesse radiale (exprimée en kilomètres par seconde)**

d = **la distance exprimée en mégaparsecs = Mpc**

H **est nommée** ***constante de Hubble*** **elle exprimée en** ***km/sec/Mpc***

La valeur de H est réajustée un certain nombre de fois entre 50 et 70

Plus une galaxie est lointaine, et plus sa vitesse d'éloignement est grande.

La loi de Hubble conduit à l'image d'un ***Univers en expansion*** **depuis son origine qu'on appelle Big Bang (chapitre II)**

4. - Les quasars

Les *quasars* = galaxies impossibles à distinguer des étoiles sur les clichés du ciel

Elles sont 100 fois plus lumineuses que les galaxies normales

Elles sont caractérisées par :

un forte émission radio

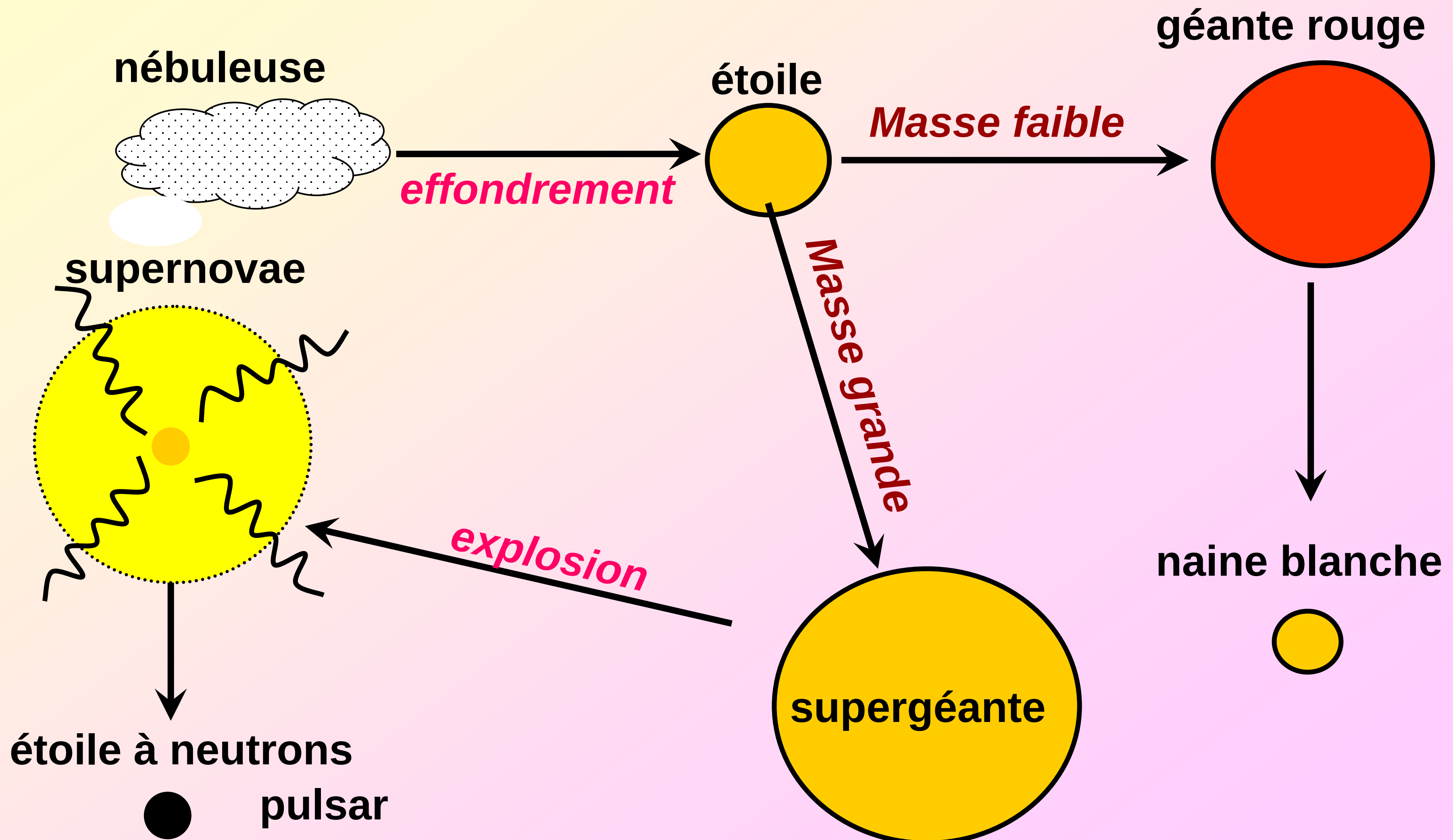
une très forte émission de rayonnements g, X et uv.

Cette énergie est d'origine gravitationnelle provenant d'un trou noir massif, situé au centre de la galaxie

Grâce à l'énorme quantité d'énergie, la matière interstellaire peut-être chauffée et ionisée jusqu'à des distances très grandes, nous révélant ainsi l'existence d'une composante gazeuse aussi éloignée.

IV - LES ETOILES

Fig.8: Evolution des étoiles



2. – Couleur et luminosité des étoiles

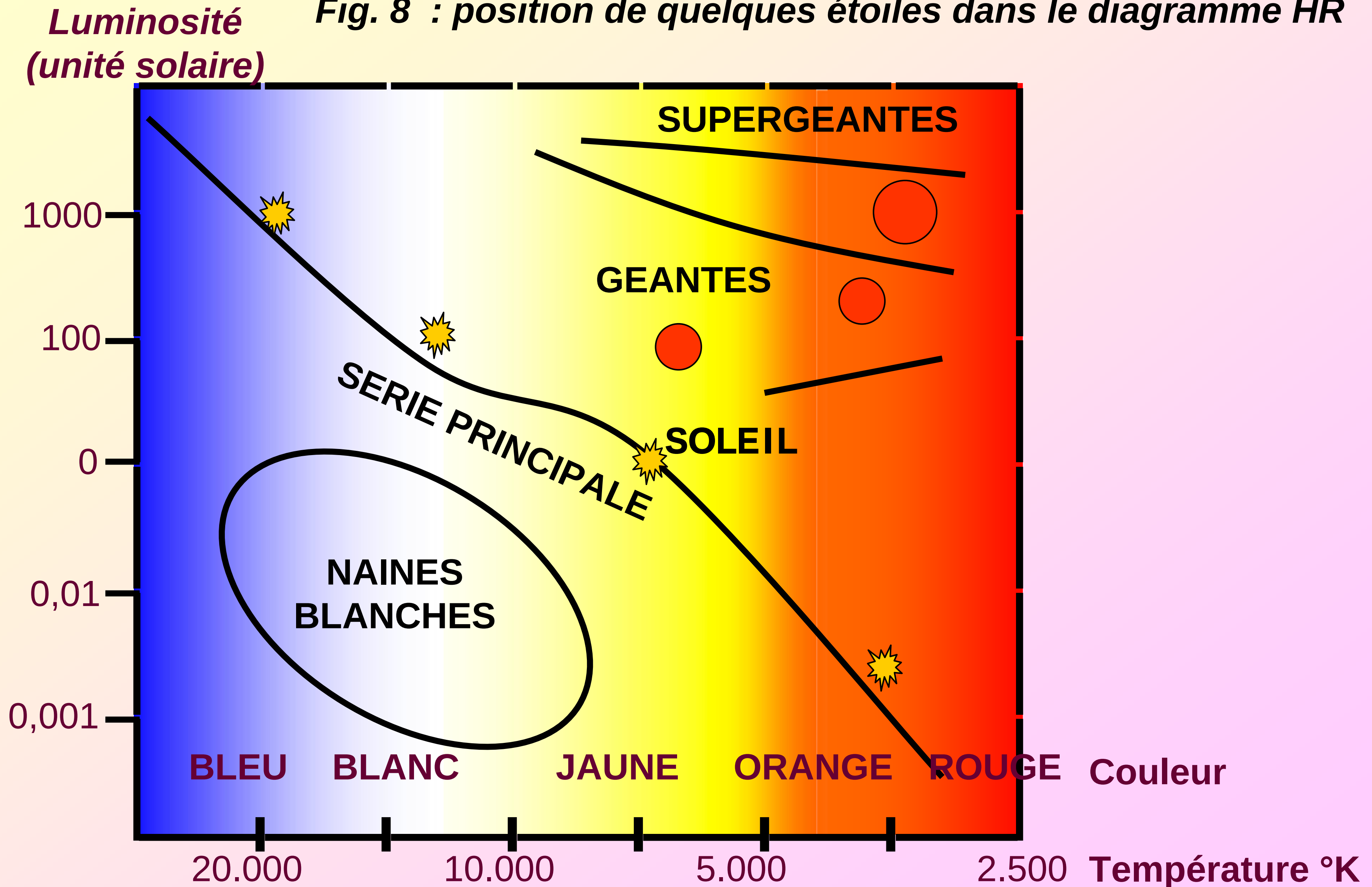
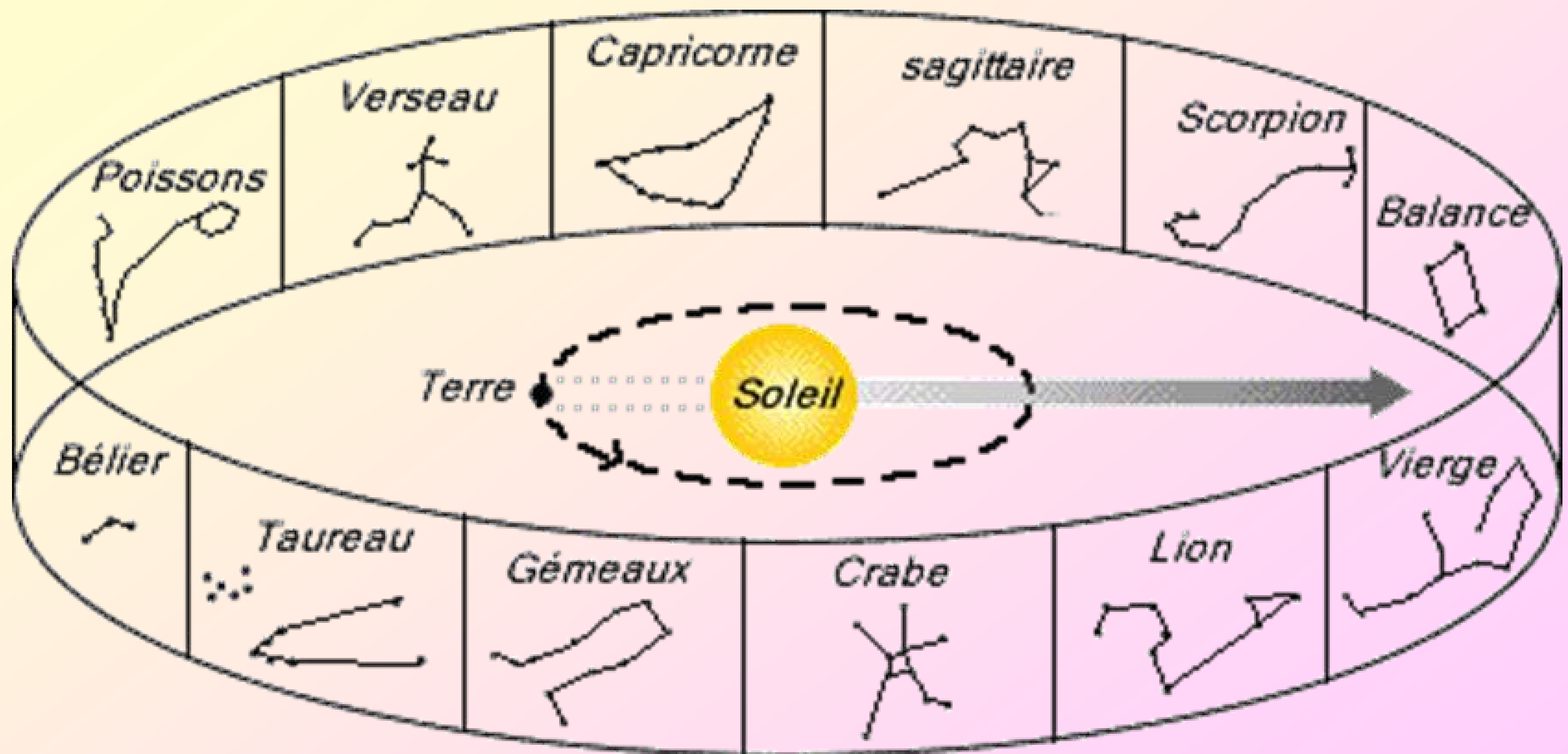


Fig. 8 : position de quelques étoiles dans le diagramme HR

Fig.9 : Les constellations



V. – LA COMPOSITION DU MILIEU INTERSTELLAIRE

zones relativement denses et froides (103 particules par cm3)

- Les nuages moléculaires → étoiles

- Les régions H II chaudes à hydrogène ionisé, chauffées par des étoiles (1.000 °K).

- Les restes de supernovae

zones dilués et chaudes (0,01 à 10 particules par cm3)

- Les régions H I à hydrogène neutre (1 atome par cm3)

la température = 50 et 150 °K

- Les régions inter nuages (0,05 à 0,2 atome par cm3)

La température = 6 000 °K.

VII – AGE DE L'UNIVERS

L'âge de l'Univers a été estimé à *15 ± 5 milliards d'années*. Il a été obtenu par trois méthodes indépendantes les unes des autres :

- **le mouvement des galaxies,**

- **l'âge des plus vieilles étoiles (en examinant leurs spectres)**

- **l'âge des plus vieux atomes (chapitre VI).**

Fig. 10: LES DIMENSIONS DE L'UNIVERS

Les dimensions et la survie de l'Univers dépendent d'une valeur critique de sa masse qu'on note VC

la masse de l'Univers > VC → forces de gravitation importantes

l'Univers serait fini et il s'effondrera sur lui-même = Big Crunch

la masse de l'Univers < VC → forces de gravitation faibles

l'expansion se poursuivra éternellement en s'accentuant

l'Univers serait spatialement infini

la masse de l'Univers = valeur critique

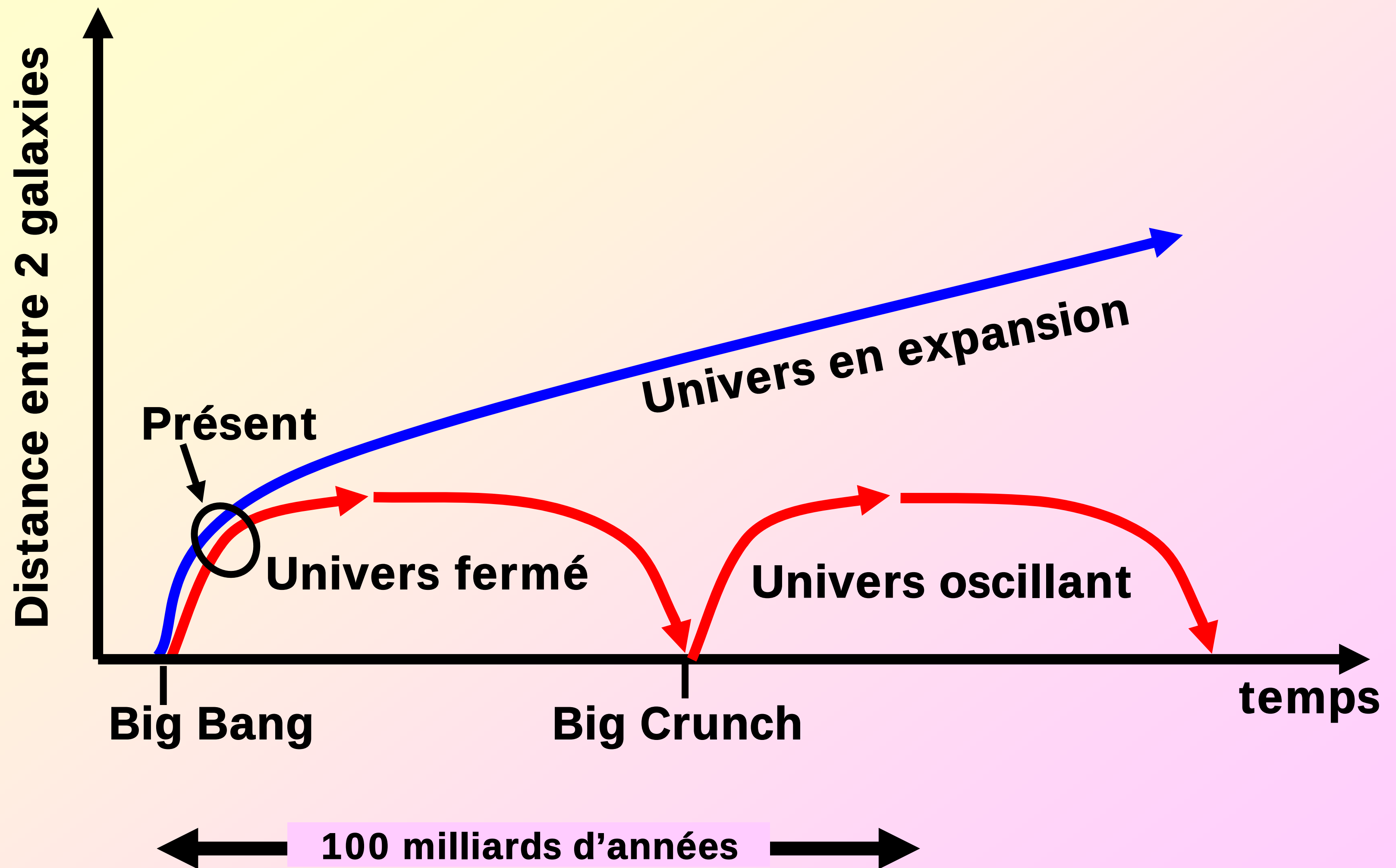
Rapprochement des objets massifs et l'expansion sera ralenti sans jamais s'arrêter

l'Univers est dit "plat".

VC calculée = 5.10^{-30} gramme de matière par mètre cube

VC observée = 5.10^{-32} gramme de matière par mètre cube

VC réelle = un grande inconnue à cause de la présence de matière noire très dense non inventoriée



Le Devenir de l'Univers
Distance entre 2 galaxies
Univers en expansion
Présent
Univers fermé
Univers oscillant
Big Bang
Big Crunch
temps
100 milliards d'années

FIN

CE DOCUMENT EST DESTINÉ AUX ETUDIANTS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE RABAT

(MAROC)

LE CONTENU DE CE DOCUMENT EST COMMENTÉ DANS LE DETAIL PENDANT LES SEANCES DE COURS ET DES TD

POUR TOUT AUTRE USAGE IL CONVIENT DE CITER LA SOURCE

Chapitre 2

NUCLEOSYNTHESE ET EVOLUTION DE L'UNIVERS

INTRODUCTION

Deux types de matière :

La matière ordinaire :

***- % faible de la masse de l'Univers**

***- Propriétés physiques connues**

La matière noire :

***- % grand de la masse de l'Univers**

***- Propriétés physiques sont inconnues : on parle de *singularité* (physique)**

On s'intéresse à la matière ordinaire de l'Univers

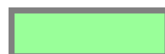
La matière ordinaire correspond à la combinaison des éléments chimiques définis dans le tableau de Mendeleïv

Nucléosynthèse = ensemble de processus physiques conduisant à la synthèse d'atomes

Fig.1 : TABLEAU DES ELEMENTS CHIMIQUES DE LA MATIERE

H 1																	He
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12						noyau très stable					Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	La 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	Ac 89	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109									
			Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71	
			Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103	

 **nucléosynthèse 3mn après la création de l'Univers jusqu'à 300.000 ans**

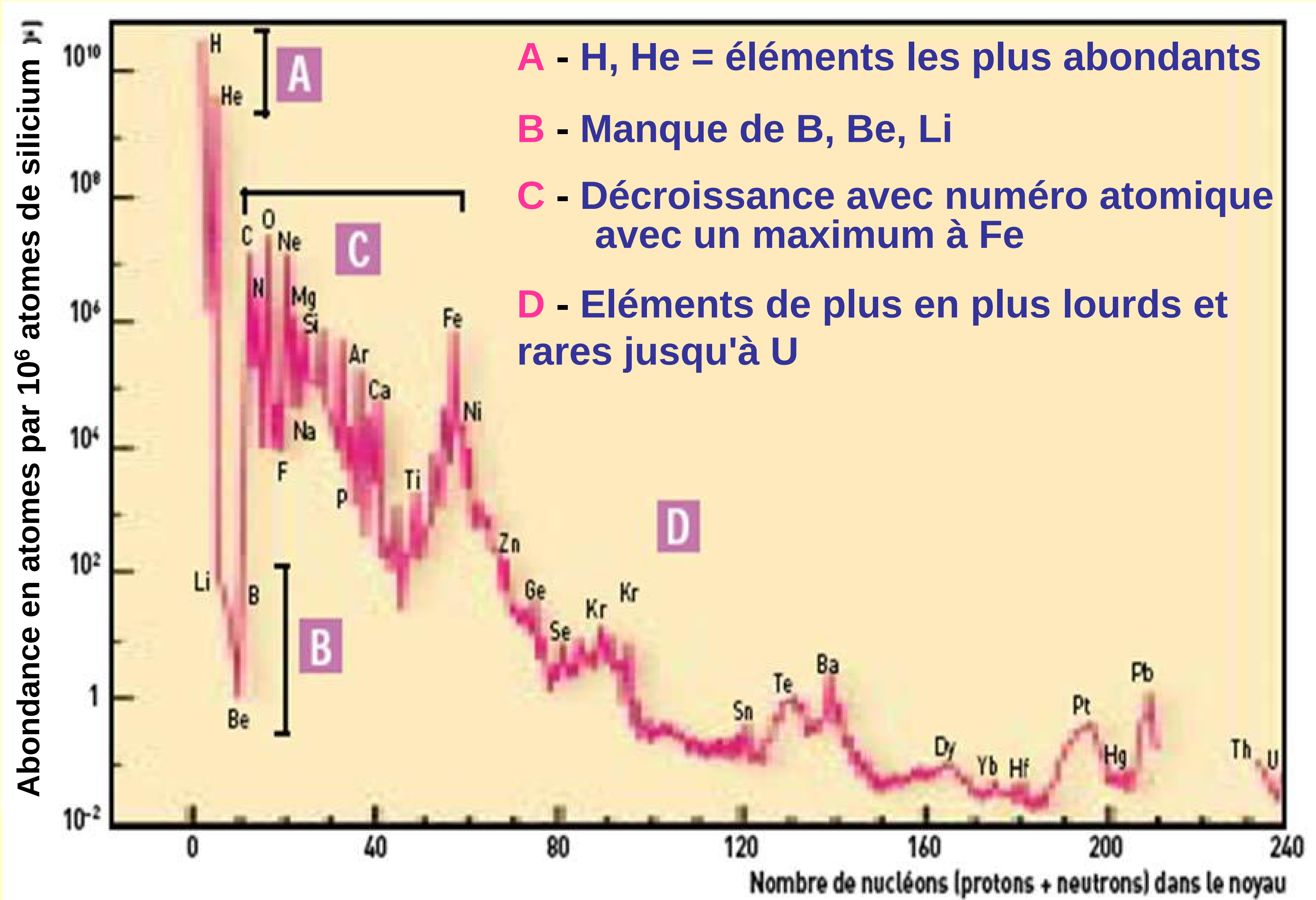
 **nucléosynthèse stellaire (300.000 ans après la création de l'Univers)**

 **nucléosynthèse interstellaire (*réaction de spallation*)**

 **nucléosynthèse après explosion des étoiles (*capture de neutrons*)**

 **nucléosynthèse artificielle**

Fig.2 : ABONDANCE DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DE LA MATIERE DANS L'UNIVERS
source : www.cea.fr



I - NUCLEOSYNTHESE PRIMORDIALE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

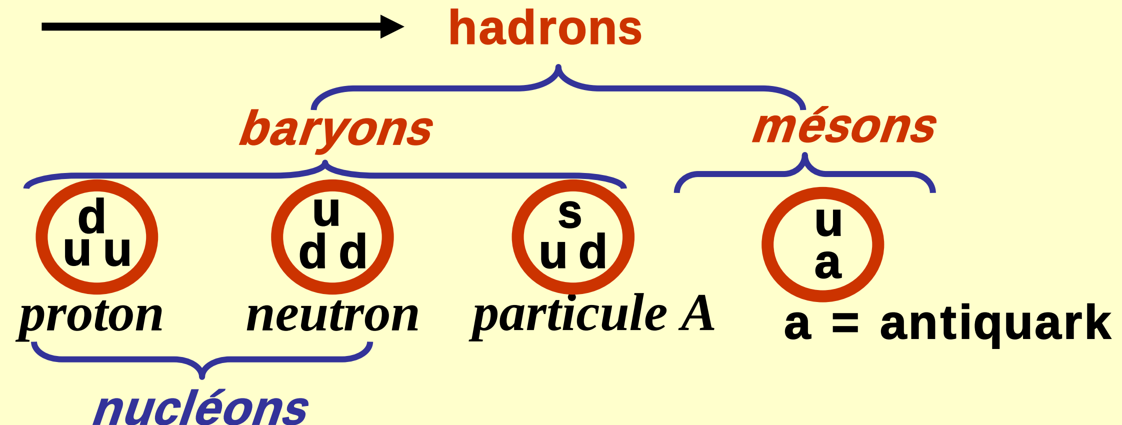
1 – LES PARTICULES ELEMENTAIRES DE L'UNIVERS (fig.3)

a.- LES PARTICULES ELEMENTAIRES QUI FORMENT TOUTE LA MATIERE DE L'UNIVERS SONT APPELEES FERMIONS

FERMIONS

QUARKS

- corps sphériques de taille < 10^{-18}m
- notés u, d, s, b, c, t
- courte durée de vie
- quarks (u d) légers forment la matière ordinaire
- ne sont jamais solitaires, toujours combinés en



LEPTONS

- électrons (taille < 10^{-18}m)
- neutrinos
  - taille 50.000 fois < à celle du quark
  - ils traversent toute la matière
  - rôle énigmatique

b. - POUR SE COMBINER, LES FERMIONS AURONT BESOIN D'AUTRES PARTICULES PORTEUSES DE « FORCES » APPELEES BOSONS :

(Pr. Driss FADLI)

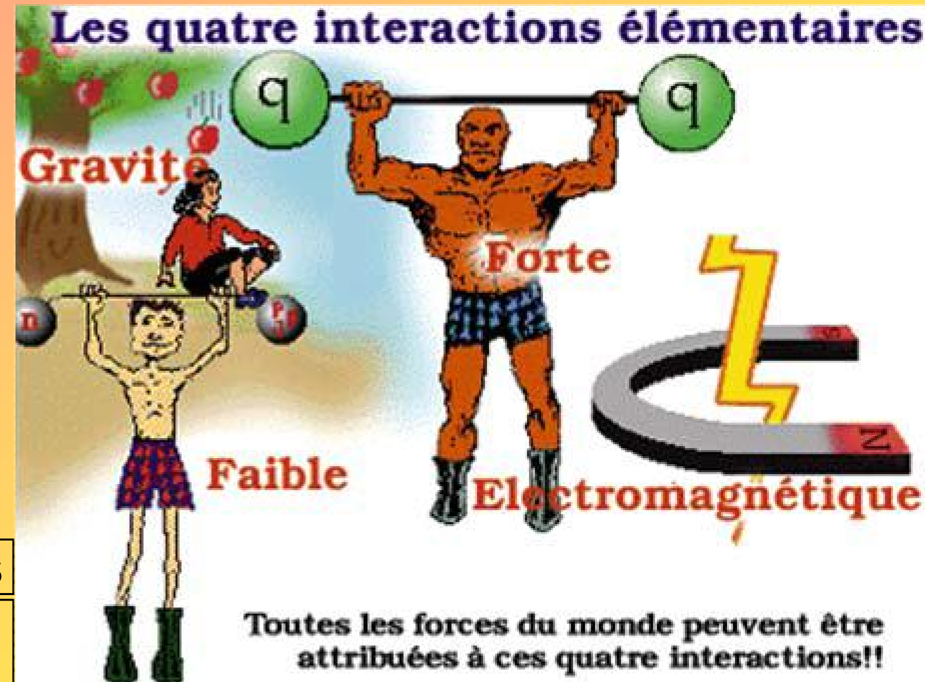
- PHOTONS, - GRAVITONS, - GLUONS, - W-,W+,Z°,

a.- LES PARTICULES ELEMENTAIRES QUI FORMENT TOUTE LA MATIERE DE L'UNIVERS SONT APPELEES <u>FERMIONS</u>

b. - POUR SE COMBINER, LES FERMIONS AURONT BESOIN D'AUTRES PARTICULES PORTEUSES DE « FORCES » APPELEES <u>BOSONS :</u>

c. - FERMIONS ET BOSONS AURONT AURONT BESOIN DE 4 INTERACTIONS FONDAMENTALES POUR FORMER LA MATIERE :

- **LA GRAVITATION**
- **L'INTERACTION NUCLEAIRE FORTE**
- **L'INTERACTION NUCLEAIRE FAIBLE**
- **L'INTERACTION ELECTROMAGNETIQUE**

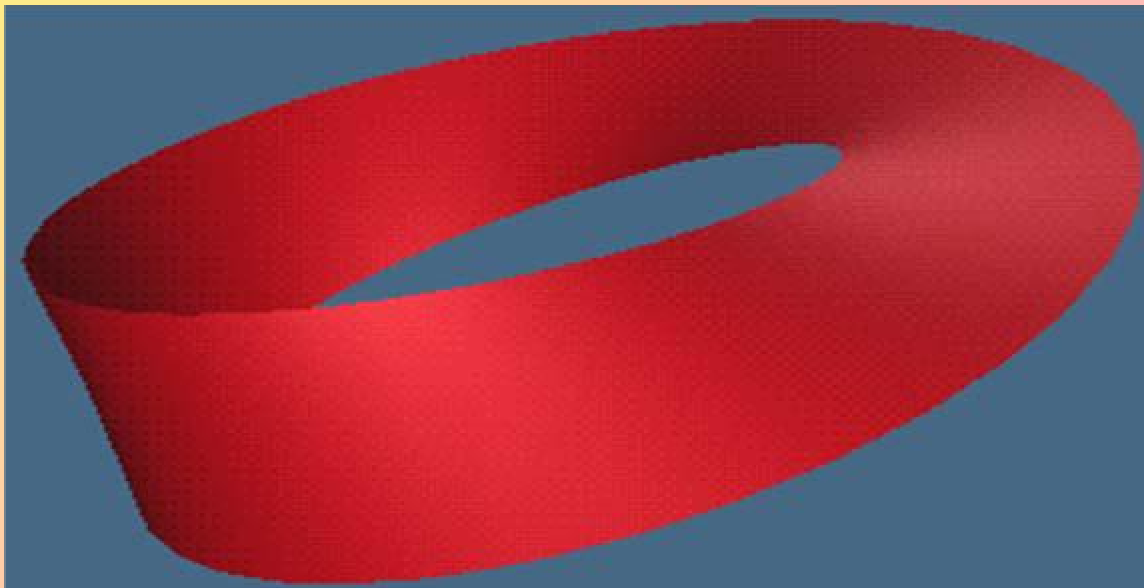


INTERACTION	BOSONS	AGIT SUR	FERMIONS
gravité	graviton		Leptons
faible	W-,W+,Z°		
Électromagnétique	photon		Quarks
forte	gluon		

L'ANTIMATIERE

- A chaque particule correspond une antiparticule (de courte durée de vie)
- Dans la réaction matière-antimatière, la conversion est total, le rendement est de 100%
- A l'heure actuel seul des éléments comme des positons et des anti-protons ont été détectés.
- Hypothèse : l’Univers serait un ruban de mœubius avec une "face" de matière et "l'autre" d'antimatière.

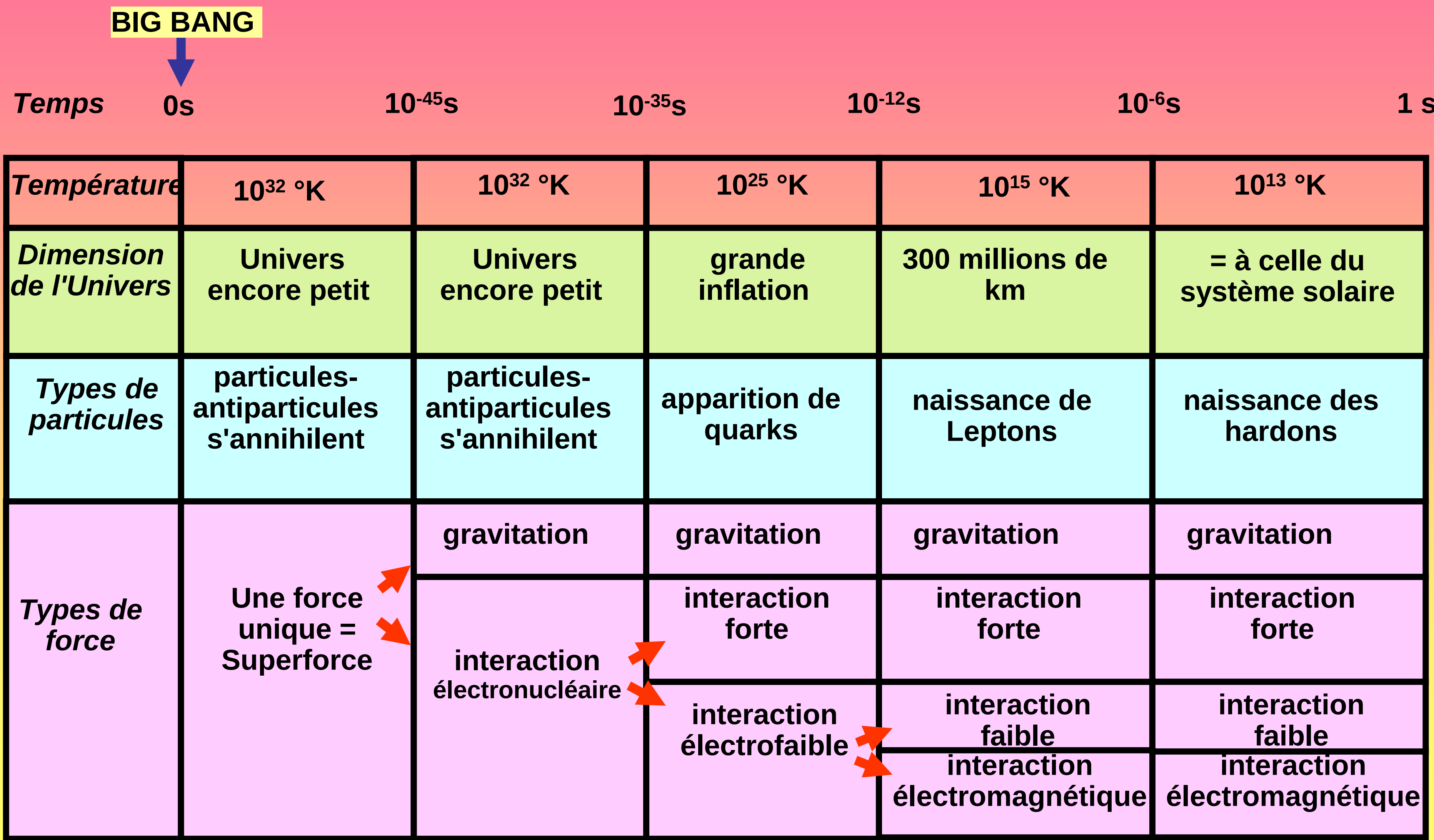
Nous passerions donc de l'une à l'autre sans en ressentir les conséquences



I - NUCLEOSYNTHESE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

1 - LES PARTICULES ELEMENTAIRES DE L'UNIVERS

2 - LA PREMIERE SECONDE DE LA CREATION DE L'UNIVERS : LE BIG BANG (fig.4)



BIG BANG

Temps : 0s — 10^{-45}s — 10^{-35}s — 10^{-12}s — 10^{-6}s — 1 s

Température	10^{32} °K	10^{32} °K	10^{25} °K	10^{15} °K	10^{13} °K
Dimension de l'Univers	Univers encore petit	Univers encore petit	grande inflation	300 millions de km	= à celle du système solaire
Types de particules	particules-antiparticules s'annihilent	particules-antiparticules s'annihilent	apparition de quarks	naissance de Leptons	naissance des hardons
Types de force	Une force unique = Superforce	gravitation	gravitation	gravitation	gravitation
		interaction électronucléaire	interaction forte	interaction forte	interaction forte
			interaction électrofaible	interaction faible	interaction faible
				interaction électromagnétique	interaction électromagnétique

I - NUCLEOSYNTHESE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

1 - LES PARTICULES ELEMENTAIRES DE L'UNIVERS

2 - LA PREMIERE SECONDE DE LA CREATION DE L'UNIVERS : LE BIG BANG

3 - FORMATION DES NOYAUX ATOMIQUES D'HYDROGENE ET D'HELIUM
⟶ NUCLEOSYNTHESE PRIMORDIALE (1 s à 3 mn)

- **La température chute à 10^6 °K**
- **L'Univers encore sombre**
- **Les éléctrons encore libres**
- **Protons d'hydrogène déjà présents continuent de se former**
- **Les noyaux d'hydrogène + neutrons → *noyaux d'hélium* (2 protons + 2 neutrons)**

Réaction H, He











75 % d'hydrogène, 25 % d'hélium

I - NUCLEOSYNTHESE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

1 - LES PARTICULES ELEMENTAIRES DE L'UNIVERS

2 - LA PREMIERE SECONDE DE LA CREATION DE L'UNIVERS : LE BIG BANG

3 - FORMATION DES NOYAUX ATOMIQUES D'HYDROGENE ET D'HELIUM

→ **NUCLEOSYNTHESE PRIMORDIALE (1 s à 3 mn)**

4 - NAISSANCE DES ATOMES D'HYDROGENE ET D'HELIUM

→ **TRANSPARENCE DE L'UNIVERS (3 mn à 3.10^5 ans)**

- 3 mn après le Big Bang

Capture des éléctrons : formation des atomes d'H et He

Photons réémis puis absorbés → Univers avait une structure de corps noir

- 300.000 ans après le Big Bang

Expansion de l'Univers → chute température à 3.000 °K

conséquences
- **fin de la nucléosynthèse H et He**
- **libération de photons**

→ **découplage matière-rayonnement**

- **l'Univers devint alors "brusquement" transparent**

ce rayonnement est actuellement perceptible dans l'Univers à une T° 2,73° K

→ **rayonnement fossile**

Découverte du rayonnement fossile

- Etape 1

En 1965 A. Penzias et R. Wilson en essayant de capter les signaux micro-ondes d'un satellite de communication, se rendirent compte qu'ils captaient un signal « parasite » identique dans toutes les directions.

Ils vérifièrent tout l'appareillage, mais sans succès

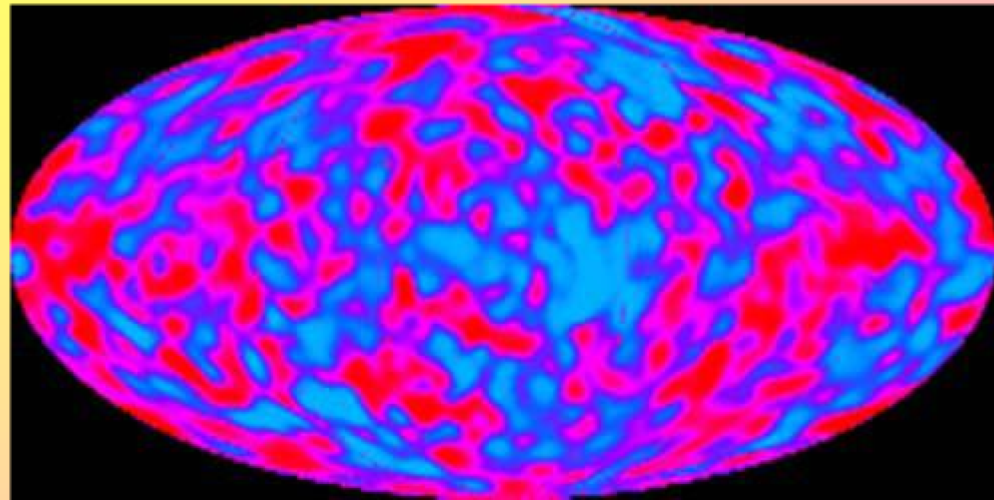
Leurs recherches sur ce bruit les conduisent à conclure qu'il s'agit d'un rayonnement cosmique fossile à 3°K (Prix Nobel)

- Etape 2

En 1989, le satellite COBE fournit une carte de ce rayonnement cosmique fossile avec un spectre qui correspondait à celui d'un corps noir de température 2,73 kelvins

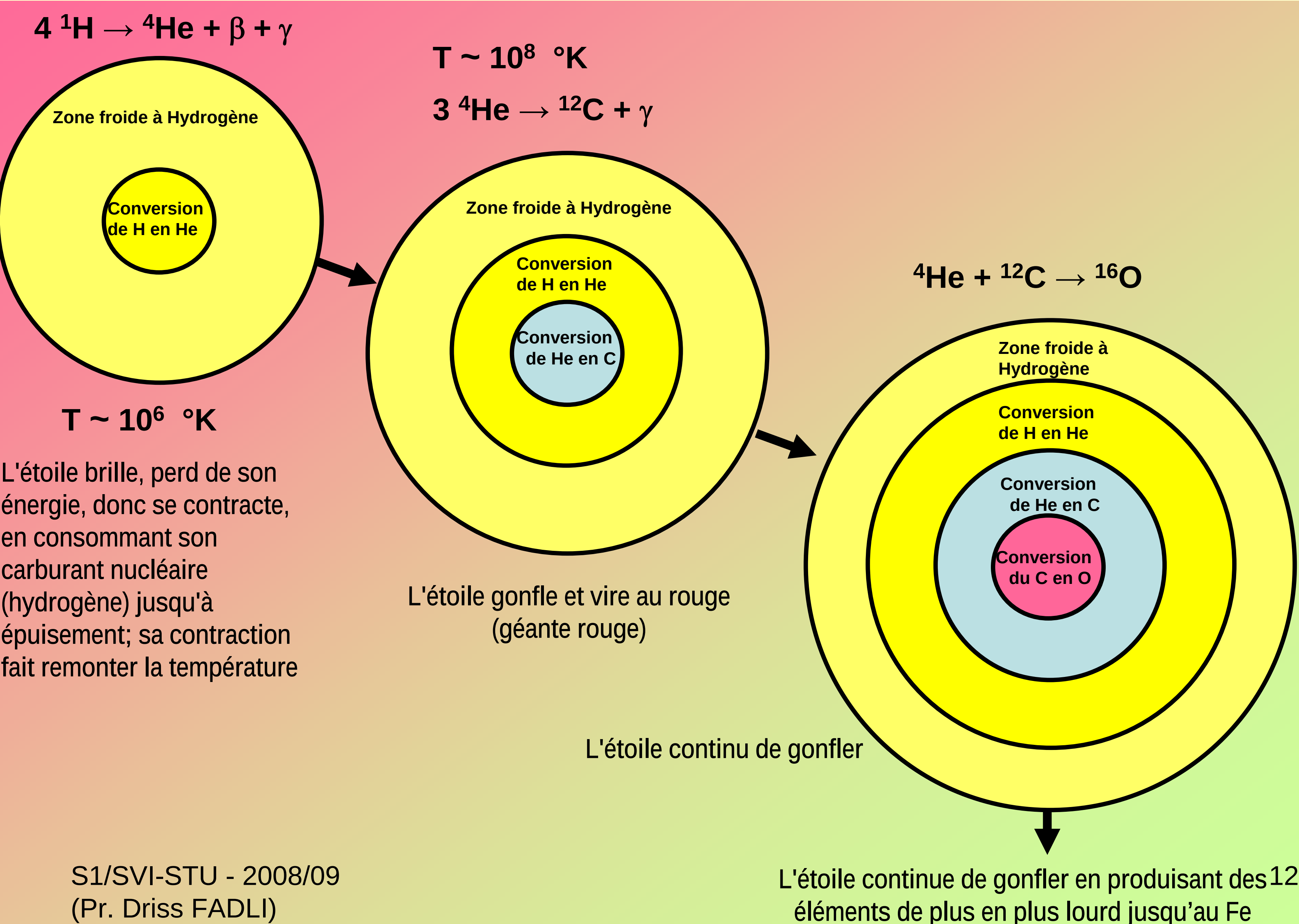
Cette lumière micro-onde constituait bien une preuve que l'Univers était passé par une phase extrêmement dense et chaude

les variations relatives de température (couleur rouge pour les plus chaudes, couleur bleu pour les plus froides) sont interprétées en termes de variation de densité de l'Univers primordial. Ces inhomogénéités de densité seraient à l'origine de la formation des galaxies observées aujourd'hui

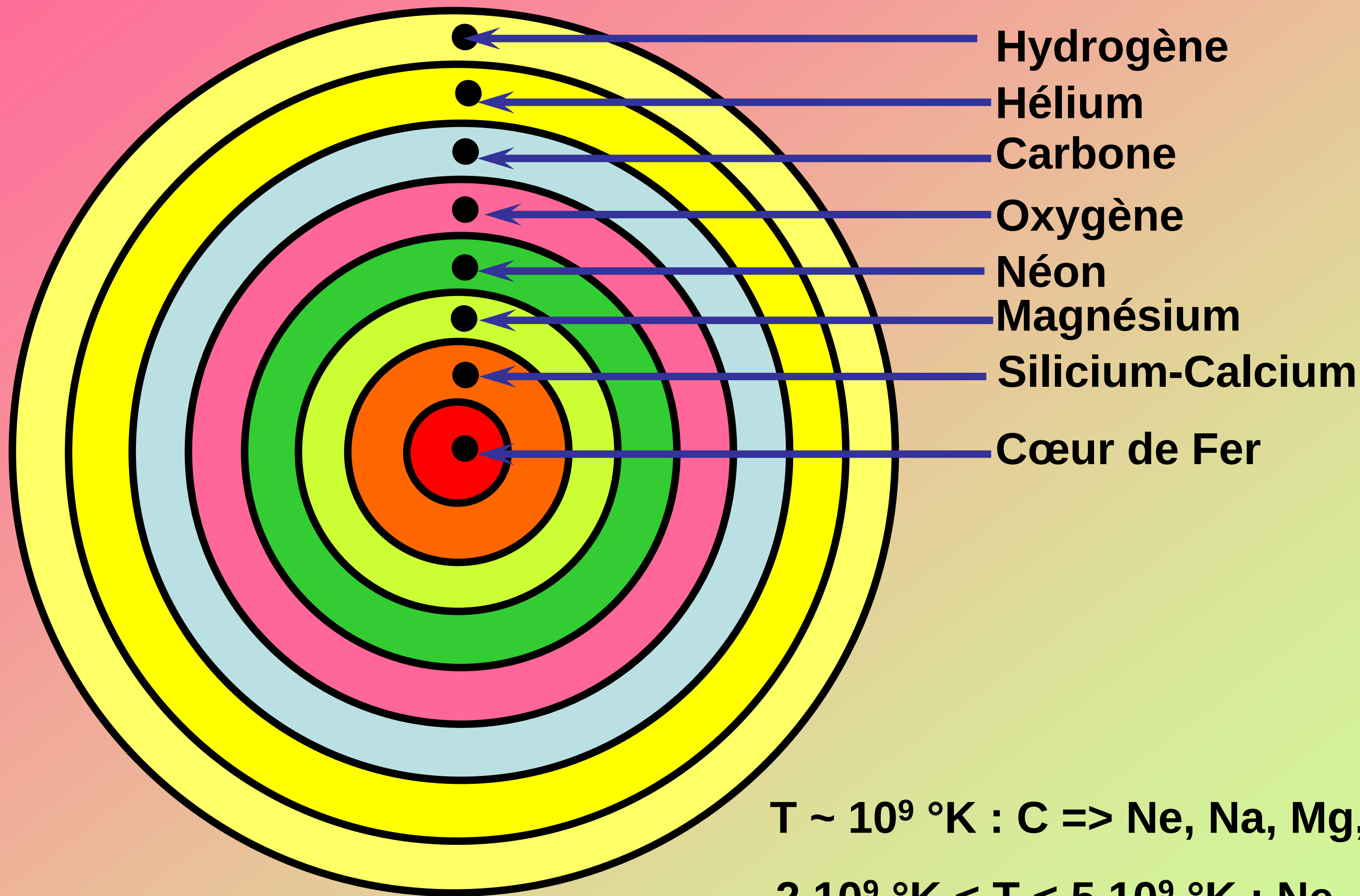


I - NUCLEOSYNTHESE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

II - NUCLEOSYNTHESE STELLAIRE (fig.5)



Coupe d'une étoile ayant une masse 25 fois celle du Soleil



T ~ 10^9 °K : C => Ne, Na, Mg, Al, Si,…

2.10^9 °K < T < 5.10^9 °K : Ne, O, Si => Fe

T ~ 5.10^9 °K : l'étoile explose en supernovae

Les éléments issus de la nucléosynthèse stellaire sont disséminés dans l’espace à la suite de l’explosion de l’étoile

Exemple de supernovae = *nébuleuse du Crabe* (M1C)

située à 6000 années lumière, et elle a fait son apparition en 1054



Source : European Southern Obervatory

A ce stade d’autres éléments de la matière seront synthétisés à la suite de réactions de *spallation* et de *capture de neutrons*

B, Be et Li

- **peu abondants dans l'Univers**
- **faits dans l'espace interstellaire**
- **résultent des réactions de « Spallation »**

➡ **noyaux atomiques de C, N et O bombardés par des protons (rayonnement cosmique) puis brisés**



fragments = noyaux de B, Be et Li

I - NUCLEOSYNTHESE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

II - NUCLEOSYNTHESE STELLAIRE

III - NUCLEOSYNTHESE SPALLATIVE : PRODUCTION DE B, Be ET Li

IV - NUCLEOSYNTHESE DES ELEMENTS LOURDS ET RARES

- Temps estimé de l'évolution d'une étoile en une supernovae entre 2 à 5 Milliard d'années

- Dans les étoiles géantes, les réactions nucléaire produisent des neutrons libres

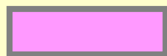
- T ~ 5.10^9 K : l'étoile explose en supernova

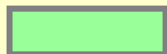
- A partir de cet instant commence la formation d'atomes lourds par addition de neutrons selon différents processus thermonucléaires jusqu à l'Uranium

NUCLEOSYNTHESE : RECAPITULATIF

H 1																	He
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	La 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	Ac 89	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109									

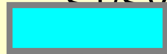
Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103

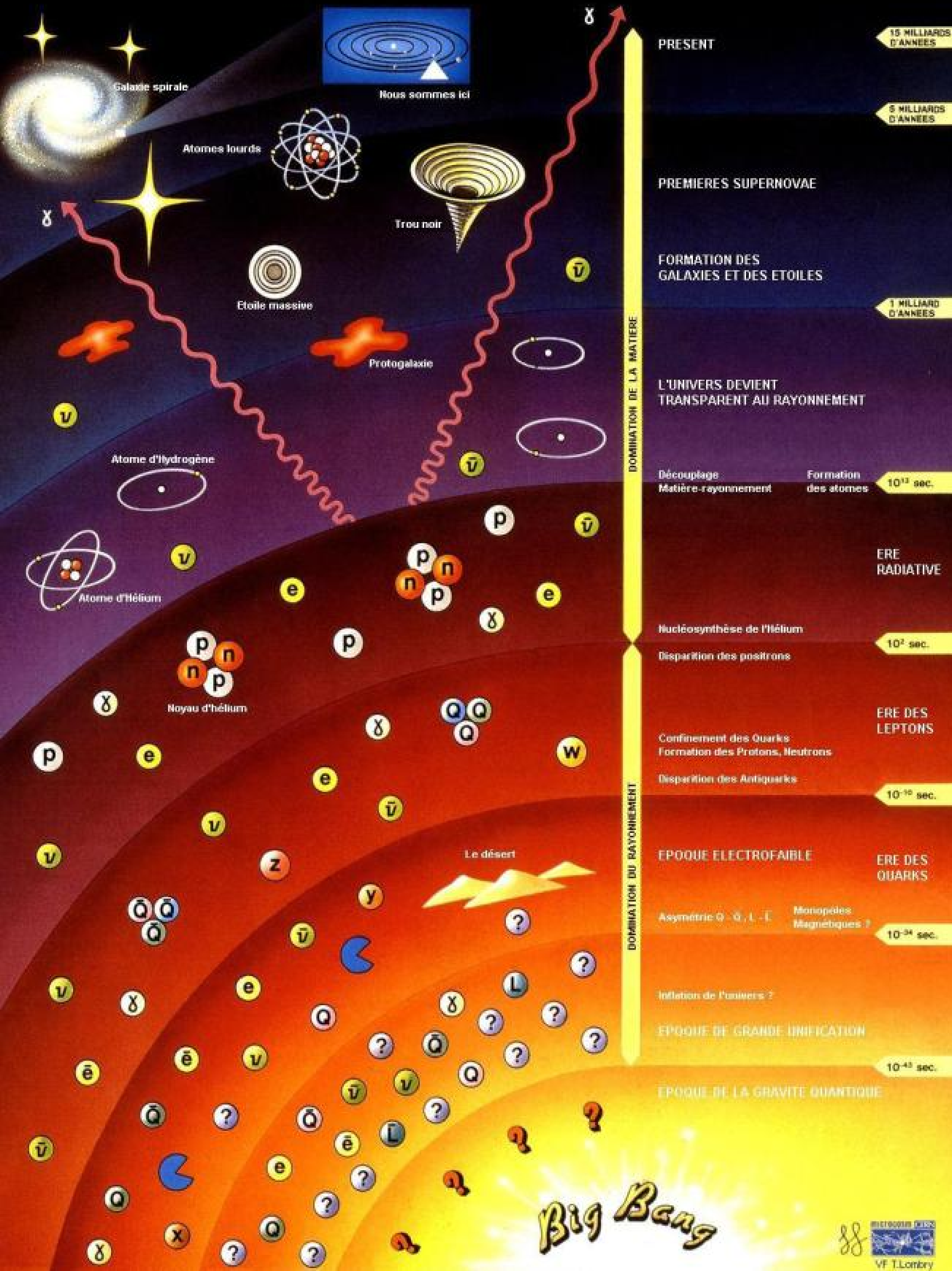

3mn après la création de l'Univers jusqu'à 300.000 ans


nucléosynthèse stellaire (300.000 ans après la création de l'Univers)


nucléosynthèse interstellaire (*réaction de spallation*)


nucléosynthèse après explosion des étoiles (*capture de neutrons*)


nucléosynthèse artificielle

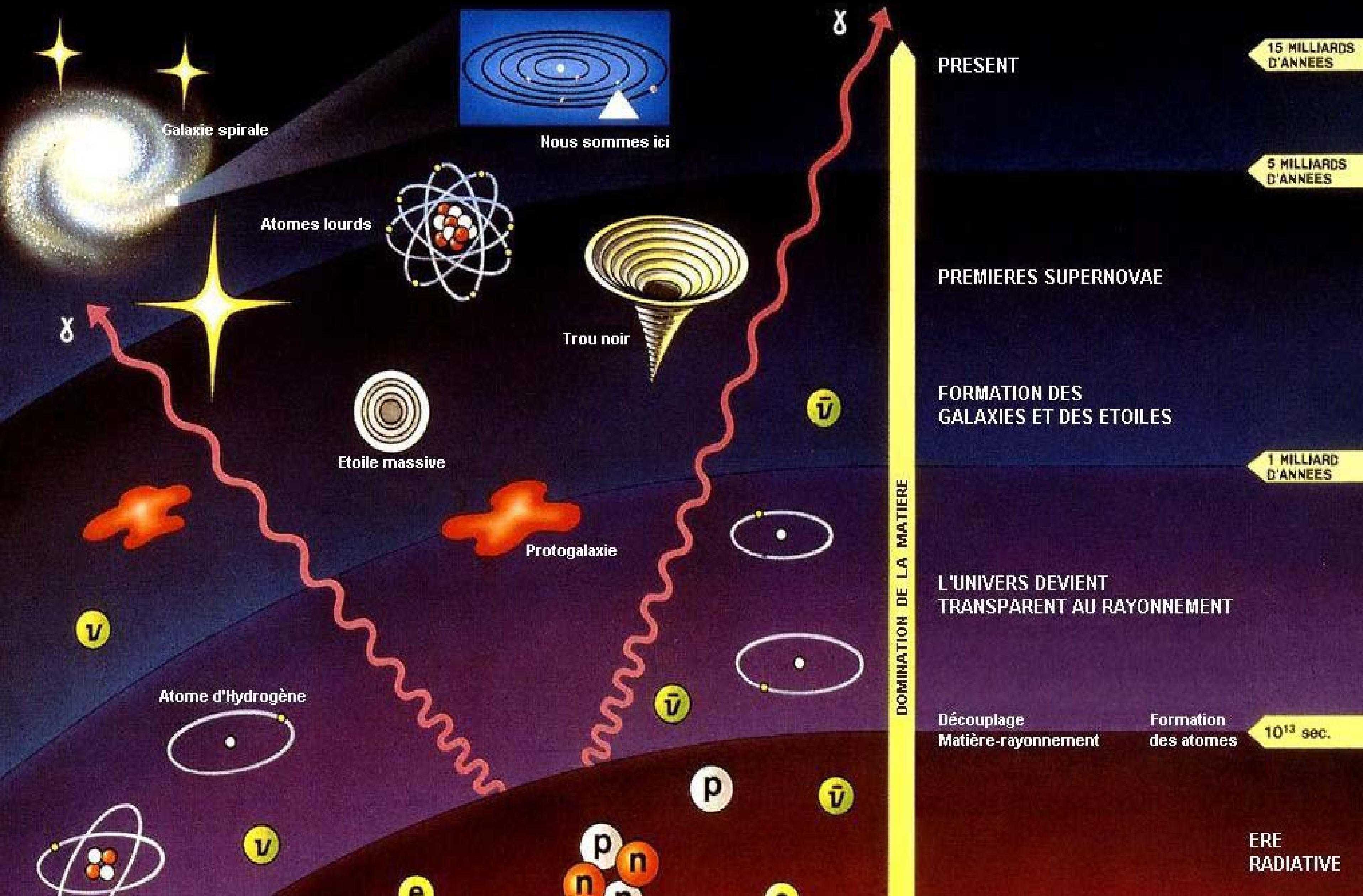


Source : http://www.astrosurf.com/

EVOLUTION DE L'UNIVERS : RECAPITULATIF 1/2



EVOLUTION DE L'UNIVERS : RECAPITULATIF 2/2



I - NUCLEOSYNTHESE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

II - NUCLEOSYNTHESE STELLAIRE

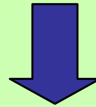
III - NUCLEOSYNTHESE SPALLATIVE : PRODUCTION DE B, Be ET Li

IV - NUCLEOSYNTHESE DES ELEMENTS LOURDS ET RARES

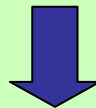
IV - SYNTHESE MOLECULAIRE INTERSTELLAIRE

milieu interstellaire se compose de restes de supernovas et de nébuleuses planétaires

milieu froid (qq dizaines de degrés) favorable aux réactions nucléaires électromagnétiques



formation d'atomes à partir des noyaux et la combinaison de l'hydrogène avec les éléments lourds pour former des molécules complexes: l'eau, l'ammoniac et des molécules organiques



pellicules de glace sur la poussière

recombinées grâce au rayonnement cosmique

I - NUCLEOSYNTHESE ET NAISSANCE DE L'UNIVERS

II - NUCLEOSYNTHESE STELLAIRE

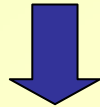
III - NUCLEOSYNTHESE SPALLATIVE : PRODUCTION DE B, Be ET Li

IV - NUCLEOSYNTHESE DES ELEMENTS LOURDS ET RARES

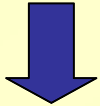
IV - SYNTHESE MOLECULAIRE INTERSTELLAIRE

V - SYNTHESE DE MOLECULES MINERALES PLANETAIRE

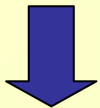
condensation de la poussière interstellaire : nébuleuse diffuse



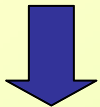
synthèse de nouvelles molécules minérales : nébuleuse planétaire



agglomération des éléments synthétisés et nouvelles recombinaisons



astéroïdes et protoplanètes



planètes

Cette phase planétaire sera examinée en détail dans le chapitre 3



FIN

CE DOCUMENT EST DESTINÉ AUX ETUDIANTS
DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE RABAT
(MAROC)

LE CONTENU DE CE DOCUMENT EST COMMENTÉ
DANS LE DETAIL PENDANT LES SEANCES DE COURS

POUR TOUT AUTRE USAGE IL CONVIENT DE CITER LA SOURCE

QUELQUES DEFINITIONS

L'Union Astronomique Internationale a décidé le 25 août 2006 de faire la distinction entre deux catégories de planètes de notre Système solaire :

Une planète est un corps céleste qui :

- est en orbite autour du Soleil,

- possède une masse suffisante pour que sa gravité l'emporte sur les forces de cohésion du corps solide et le maintienne en équilibre hydrostatique (sous une forme presque sphérique),

- a éliminé tout corps susceptible de se déplacer sur une orbite proche.

Une *planète naine* est un corps céleste qui :

- est en orbite autour du Soleil,

- a une masse suffisante pour que sa gravité l'emporte sur les forces de cohésion du corps solide et le maintienne en équilibre hydrostatique, sous une forme presque sphérique,

- n'a pas éliminé tout corps susceptible de se déplacer sur une orbite proche,

Fig.1 : ORGANISATION DU SYSTEME SOLAIRE

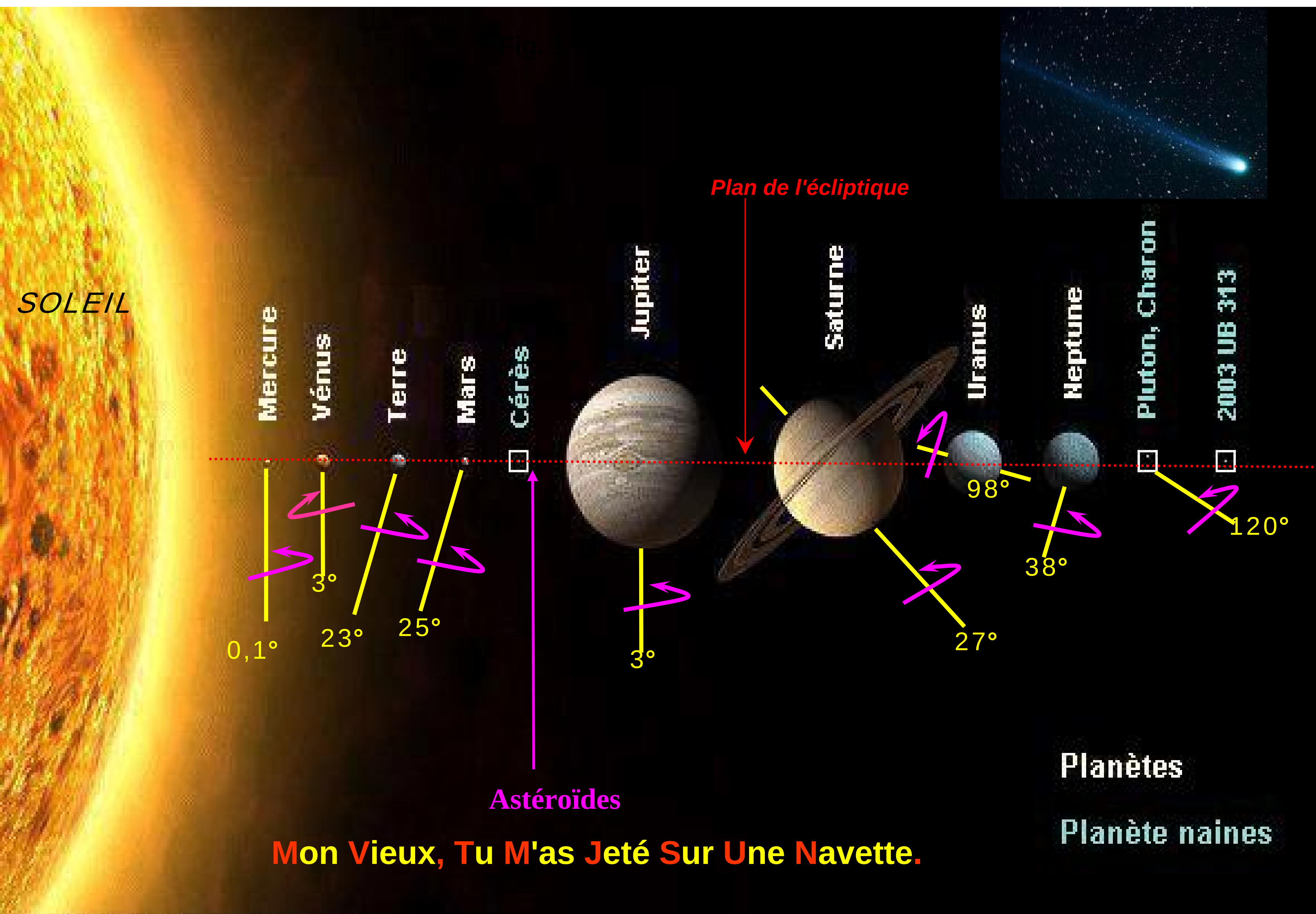
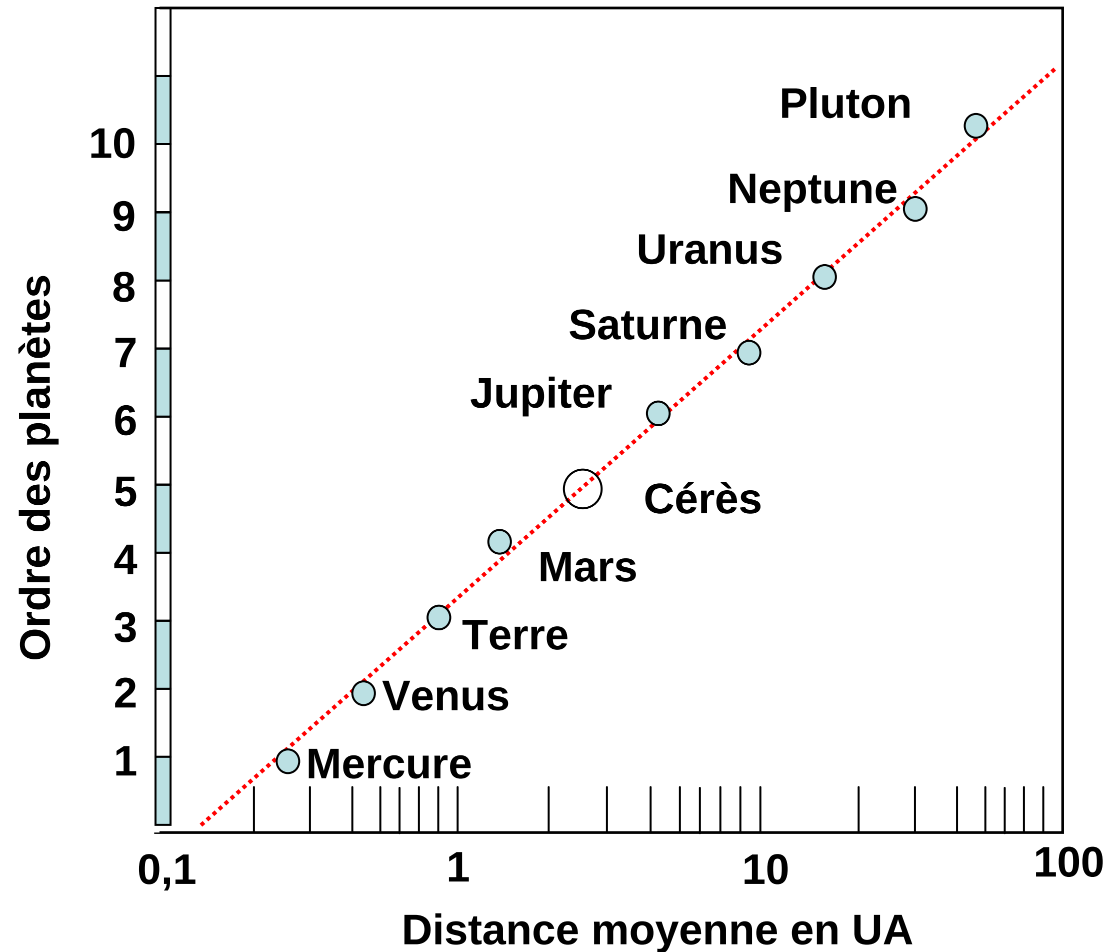


Fig.2 : La loi de Bode

Chaque planète est deux fois plus éloignée du soleil que sa voisine intérieur



relation empirique :

$d = 0{,}4 + 0{,}3 \times 2^{n}$ en UA

n = rang des planètes et des planètes naines
n = - ∞ Mercure,
n = 0 pour Vénus
n = 5 pour Uranus

soit la suite : 0 - 03 - 06 - 12 - 24 - 48 - 96 - 192 - 384
ajouter 4 : 4 - 07 - 10 - 16 - 28 - 52 - 100 - 196 - 388
diviser par 10 : 0,4 - 0,7 - 1,0 - 1,6 - 2,8 - 5,2 - 10 - 20 - 039.

Fig.3 : DIMENSIONS ET LIMITES



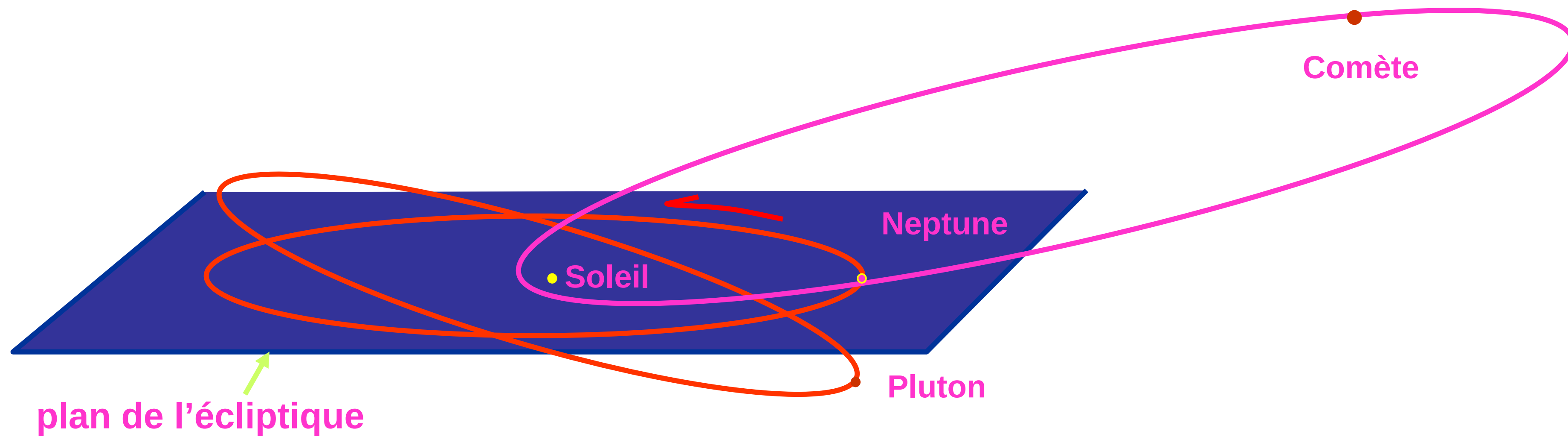
Fig.4 : Orbites et rotations des planètes et des planètes naines

- gravitation des planètes dans le plan de l'*écliptique* sauf Pluton (orbite inclinée de 17° 15')

- gravitation dans le sens anti-horaire si regarde le nord du Soleil à partir du haut

- orbites circulaires sauf pour Pluton (orbite elliptique)

- orbites des comètes très allongées vers le milieu extra système solaire



- axe de rotation presque perpendiculaire à l'écliptique sauf pour Uranus et Pluton

- rotation antihoraire des planètes sauf pour Vénus

Masse

- Soleil = 99,85%;

- Planètes = 0,13%

- Comètes + Satellites + Astéroïdes + Milieu Interplanétaire = 0,02%

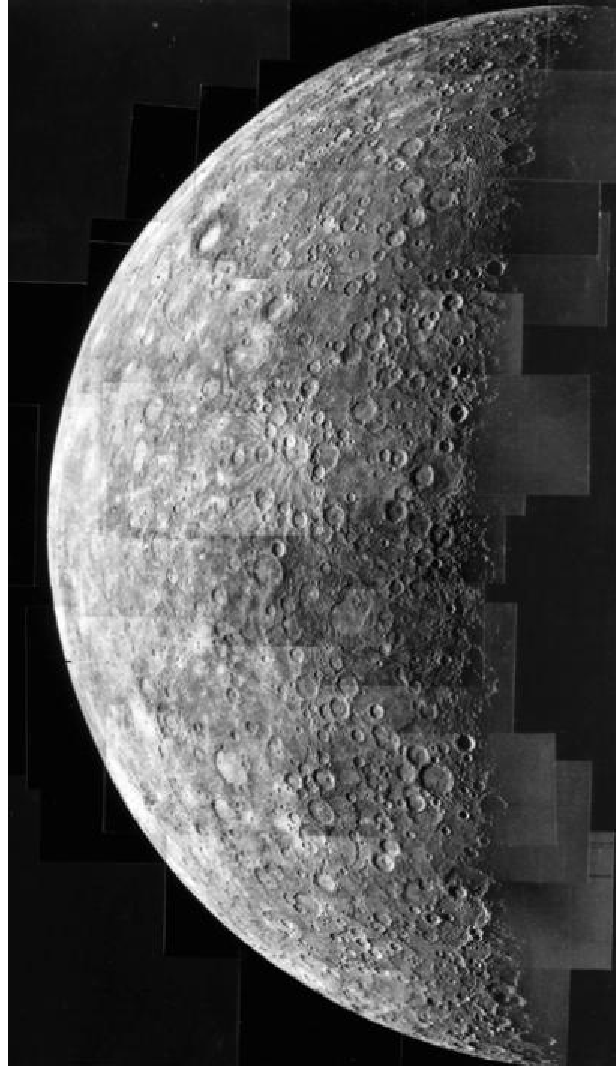
CARACTERES GENERAUX DES PLANETES ET DES PLANETES NAINES

	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Incli_orbite / écliptiques	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm³)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Mercure	0,39	2.962	0,05	87	58,7 j	0	7°	0, 3°	0,21	5,43
Vénus	0,72	6.051	0,89	224	243 j	0	3,39°	3°	0,01	5,25
Terre	1,0	6.378	1,00	365	24 h	1	0,00	23°	0,02	5,52
Mars	1,5	3.392	0,11	686	24,6h	2	1,85°	25°	0,09	3,95
Jupiter	5,2	71.492	318	4.332	9,8 h	16	1,31°	3°	0,05	1,33
Saturne	9,5	60.268	95	10.759	10,6 h	18	2,49°	27°	0,06	0,69
Uranus	19,2	25.559	15	30.685	17,2 h	15	0,77°	98°	0,05	1,29
Neptune	30,1	24.764	17	60.190	16,1 h	8	1,77°	30°	0,01	1,64

Cérès	2,76	450	0,0002	21 681	9h	0	10,58	10,6°	0,08	2,12
Pluton	39,5	1.142	0,002	90.800	6,4 j	0	17,15°	120°	0,25	2,03
Charon	30 à 49	603	0,00013	586x365j	6 j	2	98°	17°	0,38	1,71
Eris	97	1.200	0,054	203 450 j	8h?	1	45°	?	0,44	2
MakeMake	45	900	?	112 000 j	?	?	?	?	0,15	?



MERCURE



-220 °C la nuit,
+ 400 °C le jour

	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm^3)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Mercure	0,39	2.962	0,05	87	58,7 j	0	7°	0, 3°	0,21	5,43



VENUS

atmosphère : vapeur d'eau et d'acide sulfurique

température : Environ 460 °C

	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm^3)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Vénus	0,72	6.051	0,89	224	243 j	0	3,39 °	3°	0,01	5,25



TERRE

	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm^3)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Terre	1,0	6.378	1,00	365	24 h	1	0,00	23 °	0,02	5,52

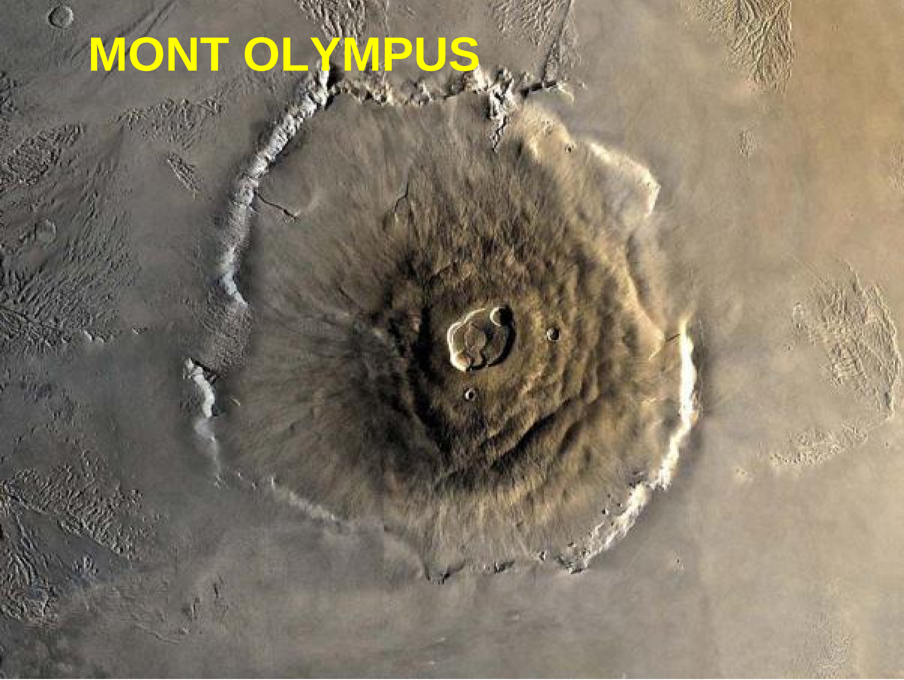


MARS

température moyenne = -53 °C

mince atmosphère de gaz carbonique (CO_2)

	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm^3)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Mars	1,5	3.392	0,11	686	24,6h	2	1,85 °	25 °	0,09	3,95

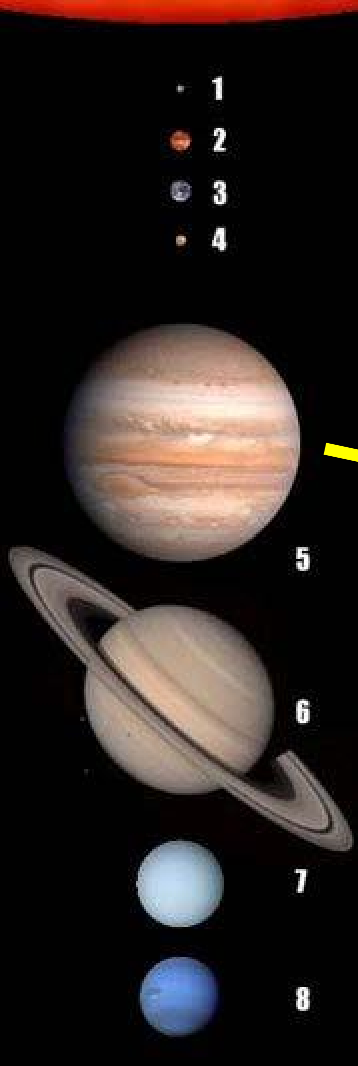

MONT OLYMPUS


CALLOTTE GLACIAIRE AU PÔLE NORD
DE MARS


SOL MARTIEN

NASA

JUPITER



atmosphère = hydrogène + d'hélium + méthane + ammoniac

nombreux nuages

températures : ?

	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm^3)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Jupiter	5,2	71.492	318	4.332	9,8 h	16	1,31 °	3°	0,05	1,33

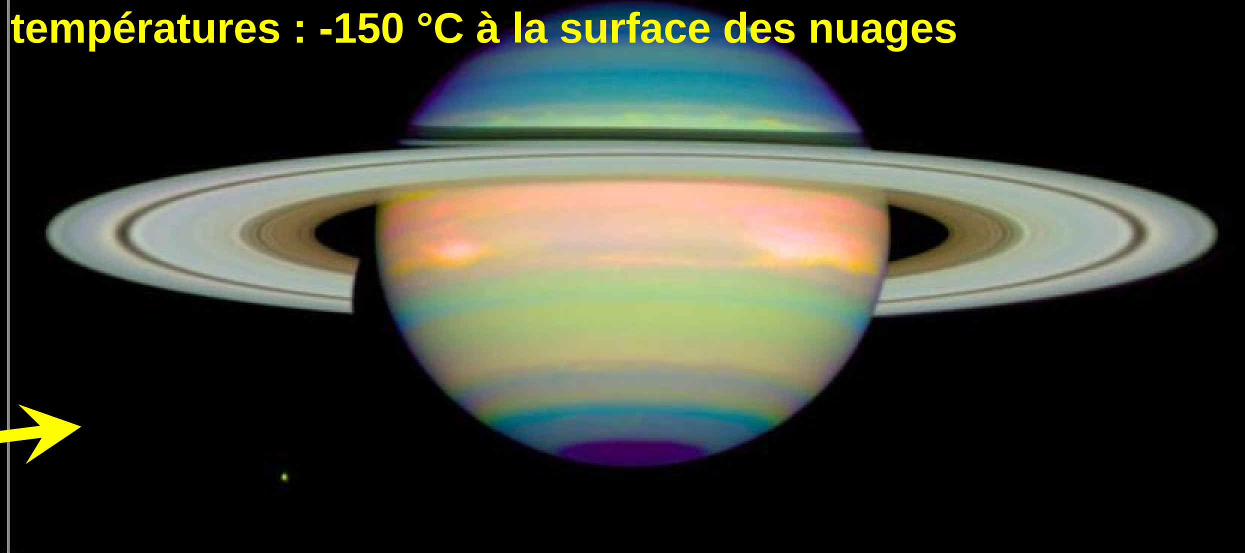


SATURNE

anneaux formés de blocs de glace de différentes tailles

atmosphère est comparable à celle de Jupiter

températures : -150 °C à la surface des nuages



Saturn • January 4, 1998

Hubble Space Telescope • NICMOS

PRC98-18 • April 23, 1998 • ST ScI OPO • E. Karkoschka (University of Arizona) and NASA

	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm^3)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Saturne	9,5	60.268	95	10.759	10,6 h	18	2,49 °	27°	0,06	0,69

URANUS



atmosphère comparable à celle de Jupiter et de Saturne, faible% en hydrogène

températures : ?

	Distance (UA)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm^3)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Uranus	19,2	25.559	15	30.685	17,2 h	15	0,77 °	98°	0,05	1,29



NEPTUNE

tempêtes géantes incessantes

températures : -206 °C

	Distance (AU)	Rayon (km)	Masse (par rapport à la Terre)	Révolution (en jours)	Rotation (jours ou heures)	# Lunes (satellites)	Inclinaison / l'écliptique	Inclinaison équateur	Excentricité Orbitale	Densité (g/cm^3)
Soleil	0	696.000	332.800	25-36		9	---	---	---	1,41
Neptune	30,1	24.764	17	60.190	16,1 h	8	1,77 °	30°	0,01	1,64

Pluton (à gauche) et Charon observés en 1994 par le télescope spatial. La séparation du couple est de 19 600 kilomètres. Crédit : GSFC/NASA

(−243 et −217 °C)

Vue d'artiste d'Éris et Dysnomie. Éris est l'objet principal, Dysnomia le petit point juste au-dessus.

II. – LE SOLEIL

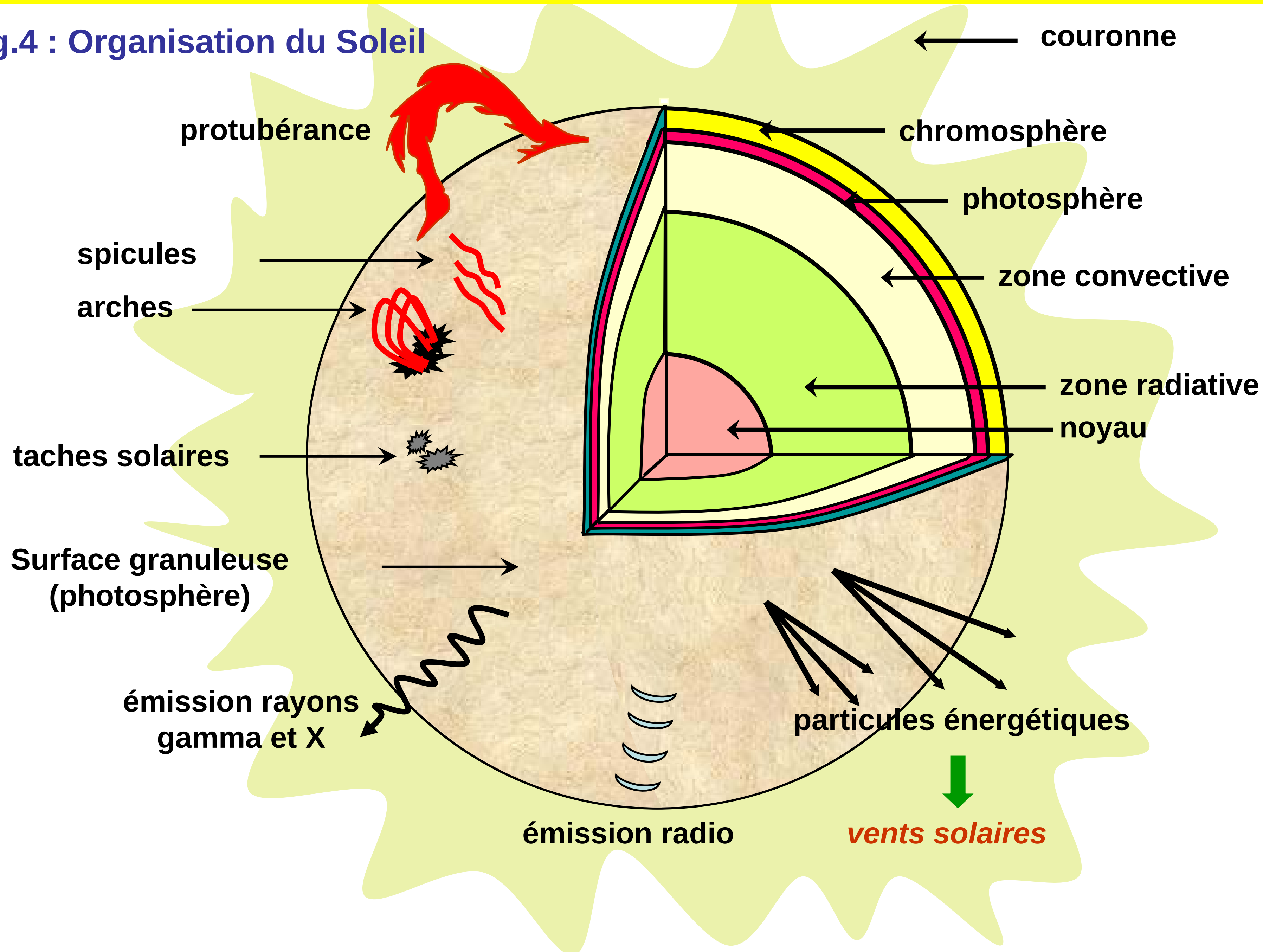
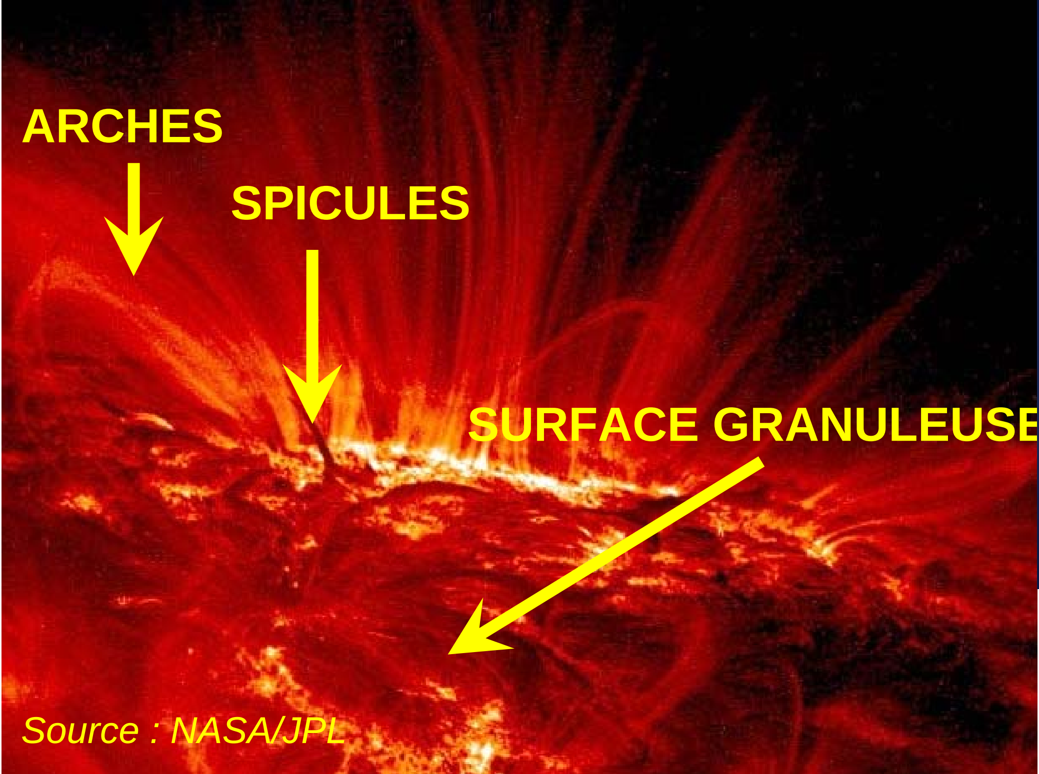


fig.4 : Organisation du Soleil
couronne
protubérance
chromosphère
photosphère
spicules
zone convective
arches
zone radiative
noyau
taches solaires
Surface granuleuse
(photosphère)
émission rayons
gamma et X
particules énergétiques
émission radio
vents solaires









Source : NASA/JPL

VENT SOLAIRE

Source : http://www.surebase.com/



IV - LES AUTRES COMPOSANTES DU SYSTEME SOLAIRE

1 - LES SATELLITES

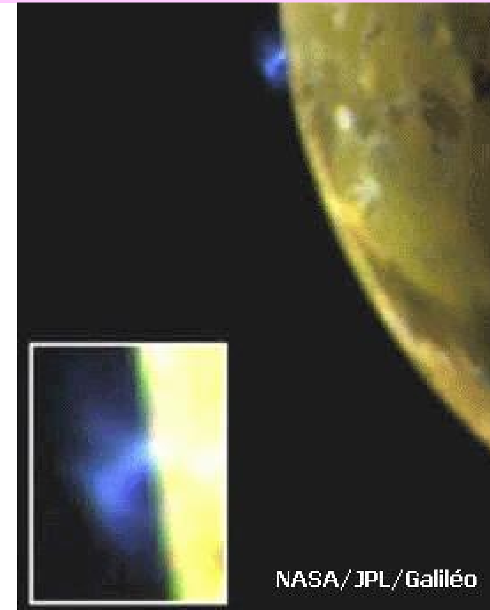
Exemple 1 : Jupiter et ses grands satellites

Io

Europa

Ganymede

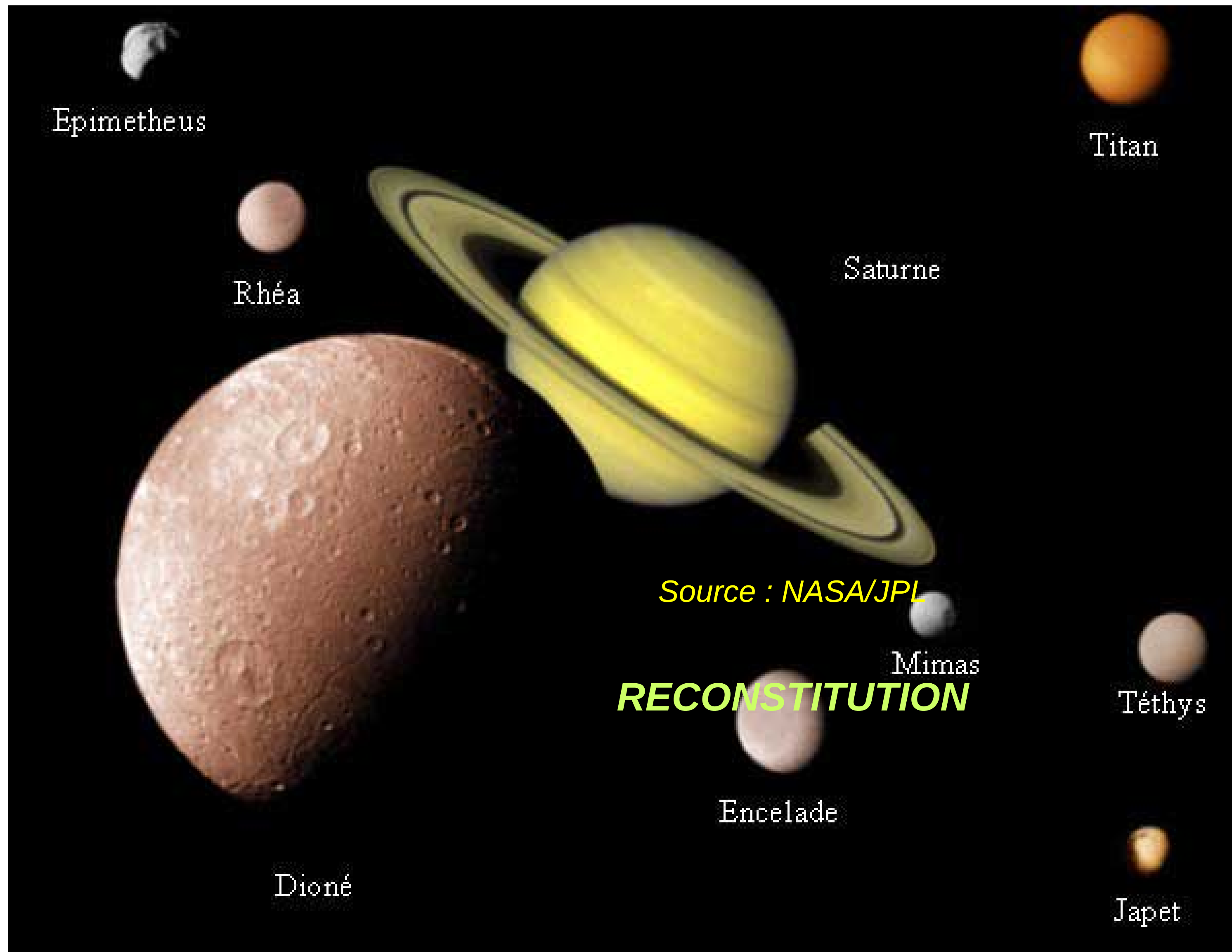
Source : NASA/JPL



Io est le satellite galiléen le plus proche de Jupiter



Exemple 2 : Saturne et ses principaux satellites



NASA

IV - LES AUTRES COMPOSANTES DU SYSTEME SOLAIRE

1 - LES SATELLITES

2 - LES COMETES

- forme irrégulière et taille est comprise entre 1 et 40 km
- orbites non-elliptiques autour du Soleil, en dehors de l'écliptique
- révolution : 76 ans (comète de Halley) à 2.400 ans (comète de Hall-Bopp).
- masse dépasse de 50 fois celle de la Terre
- Constitution : glaces et de poussiers
- chauffage par la radiation solaire

émission de quantités importantes de gaz et formation d’une queue

- origine serait la ceinture de Kuiper et//ou le nuage d’Oort

http://www.fearme.com/

IV - LES AUTRES COMPOSANTES DU SYSTEME SOLAIRE

1 - LES SATELLITES

2 - LES COMETES

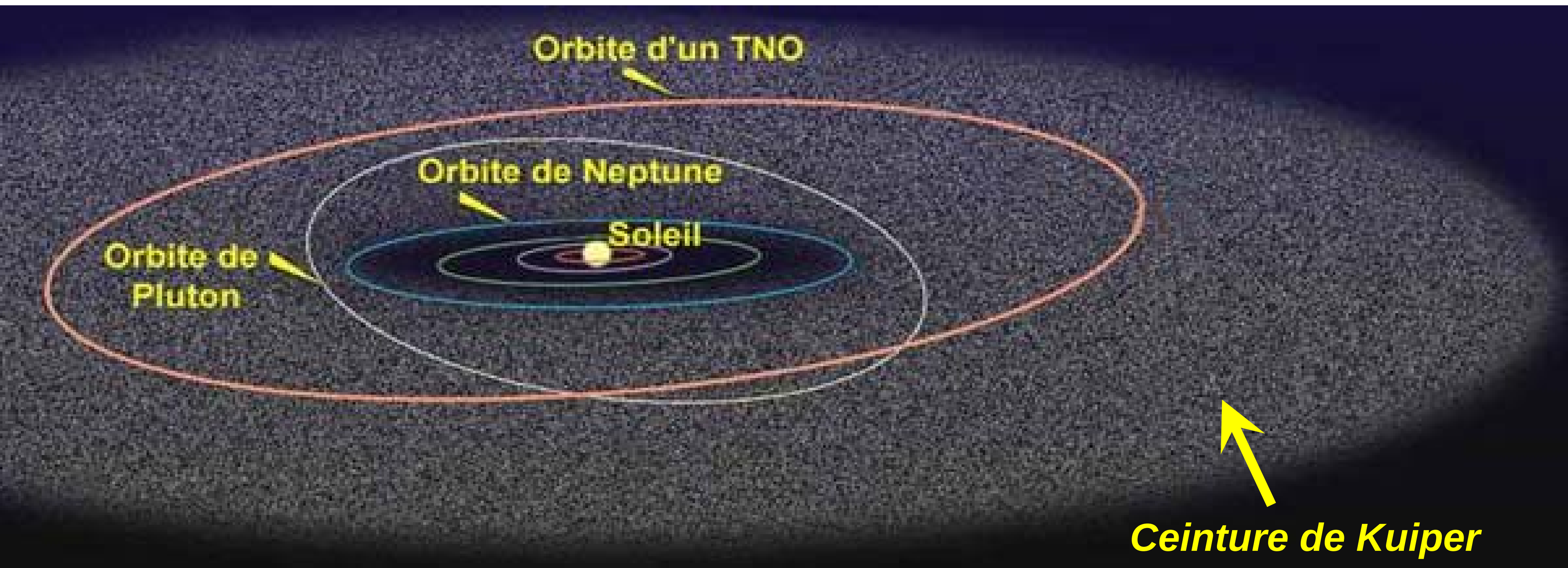
3 - LES ASTEROIDES

- corps rocheux en orbite autour du Soleil
- petits pour être considérés comme des planètes.
- dimensions variable entre 1000 km et quelques cm.
- on distingue trois groupes:

  ceux de la *ceinture de Kuiper* en dehors de l'orbite de Pluton

  ceux qui ont des orbites qui croisent celles des autres planètes

  ceux de la *ceinture principale* entre les orbites de Mars et Jupiter



ORBITES DES ASTEROIDES DANS LE SYSTEME SOLAIRE

Les Troyennes

MARS

TERRE

VENUS

JUPITER

Eros

Geographos

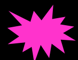
Adonis

Hidalgo

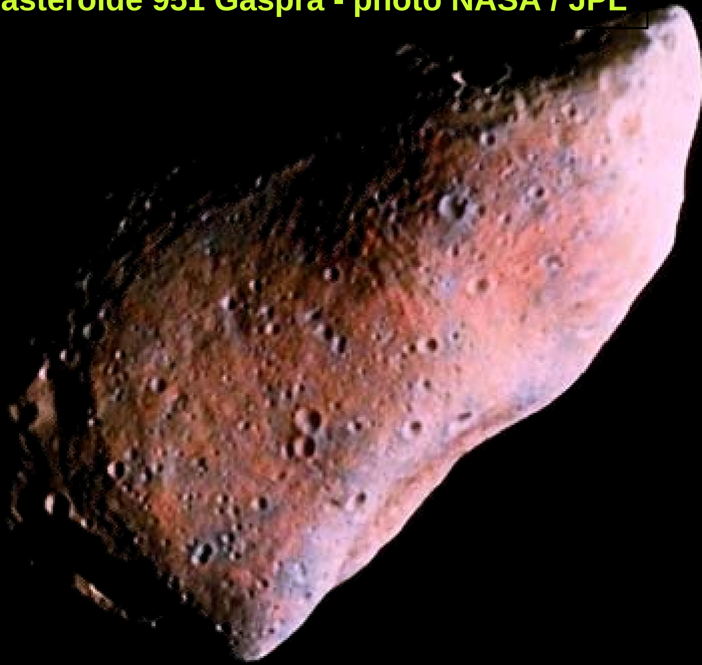
Les Troyennes

 La Ceinture principale entre Jupiter et Mars

 Les Troyennes : même orbite que Jupiter

 Les Géocroiseurs : orbites croisent celui de la Terre

L'astéroïde 951 Gaspra - photo NASA / JPL



L'astéroïde 253 Mathilde - photo NASA / JPL



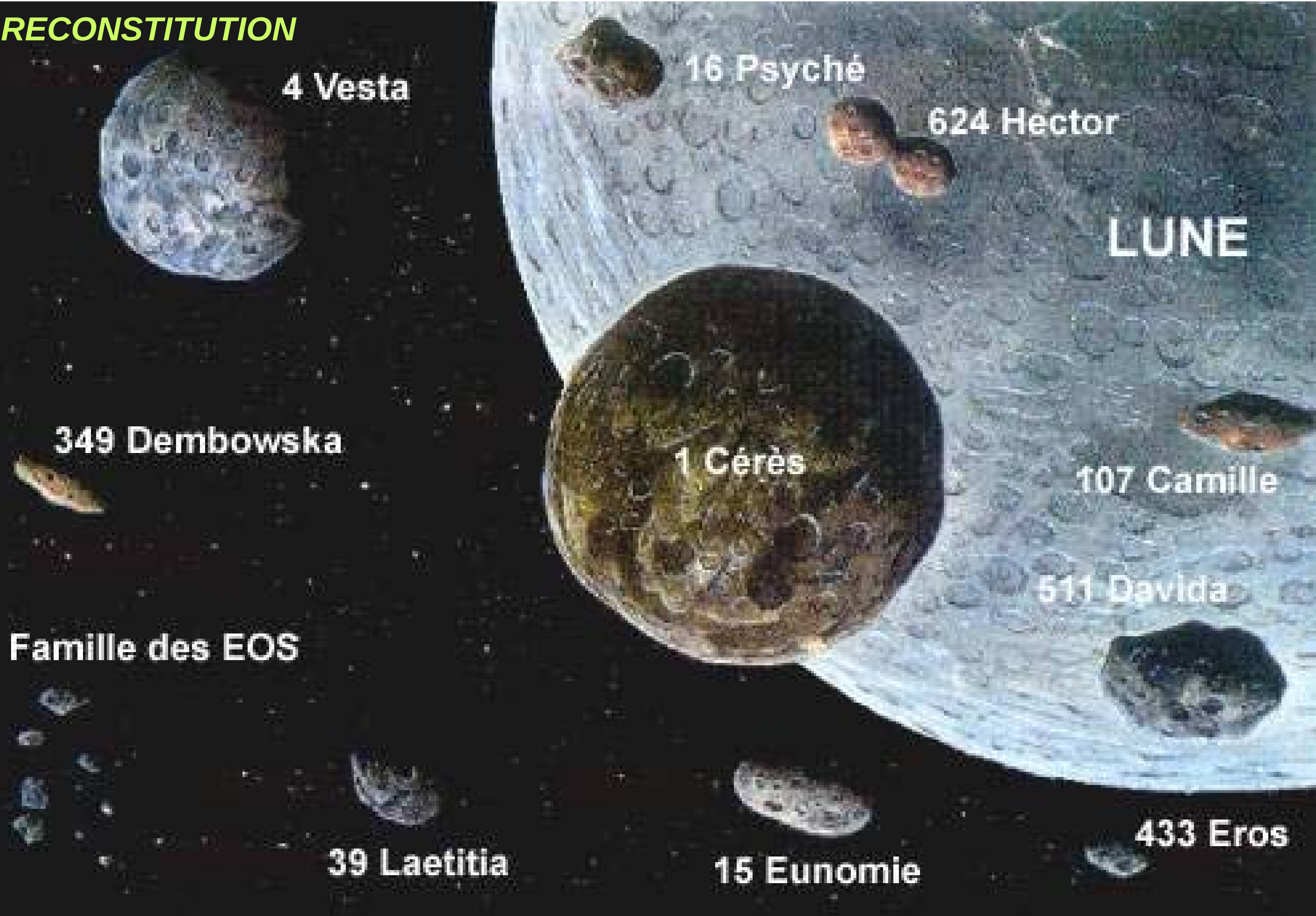
L'astéroïde 243 Ida et son satellite - photo NASA / JPL



L'astéroïde 433 Eros - photo NASA / JPL



NASA



NASA

Taille comparée des plus gros astéroïdes et de la Lune

IV - LES AUTRES COMPOSANTES DU SYSTEME SOLAIRE

1 - LES SATELLITES
2 - LES COMETES
3 - LES ASTEROIDES
4 - LES METEORITES

QUELQUES DEFINITIONS

- **Un météroïde** = un astéroïde situé sur une trajectoire de collision avec la Terre

- **Un météore** = «étoile filante » = un météroïde qui entre dans notre atmosphère à haute vitesse et qui se désintègre par la friction en laissant une trace de lumière

- **une météorite** = un fragment rocheux qui frappe la surface de la Terre et qui résulte de la désintégration d'un météore lorsque ce dernier ne brûle pas complètement

- **les chondres** = des sphérules millimétriques observées dans une météorite

Ce sont des inclusions silicatées ayant la même composition chimique que la couronne solaire et le milieu interstellaire

- **Les chondrites** = des roches formées en partie de chondres.

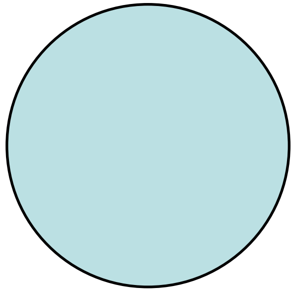
Les chondrites seraient les témoins de la condensation de la nébuleuse initiale.

Leur datation radiométrique donne un âge de 4.600 million d'années

antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/image

CLASSIFICATION DES METEORITES

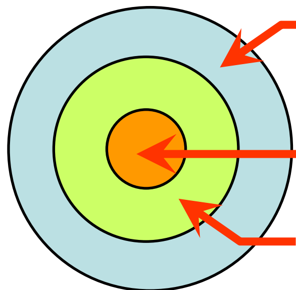
INDIFFERENCIEES



- chondrites ordinaires (olivine, pyroxène, métal) 80%

- chondrites carbonées (composition solaire + carbone) 80%

DIFFERENCIEES



croûte **- achondrites (pyroxène + autres) 8%**

noyau **- métalliques (Fe + Ni) 6%**

manteau **- métallo-pierreuses (métal + silicates) 2%**

Météorite pierreuse : Chondrite



Météorite métallique : Sidérite



IV - LES AUTRES COMPOSANTES DU SYSTEME SOLAIRE

1 - LES SATELLITES
2 - LES COMETES
3 - LES ASTEROIDES
4 - LES METEORITES
5 - LE MILIEU INTERPLANETAIRE

- poussières

= particules solides microscopiques issues des comètes et les astéroïdes

- vent solaire

= plasma entièrement ionisé et magnétisé, constitué de noyaux d'hydrogène et d'hélium) mélangés à des électrons à très haute température

- rayons cosmiques

= vent solaire mélangé à des noyaux et atomes plus lourds

V - FORMATION DU SYSTEME SOLAIRE

nébuleuse planétaire

disque protoplanétaire

Système Solaire

protoétoile

Soleil

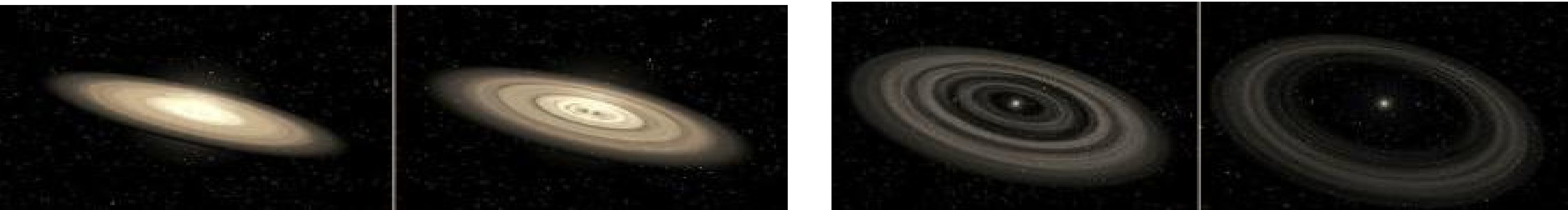
accrétion

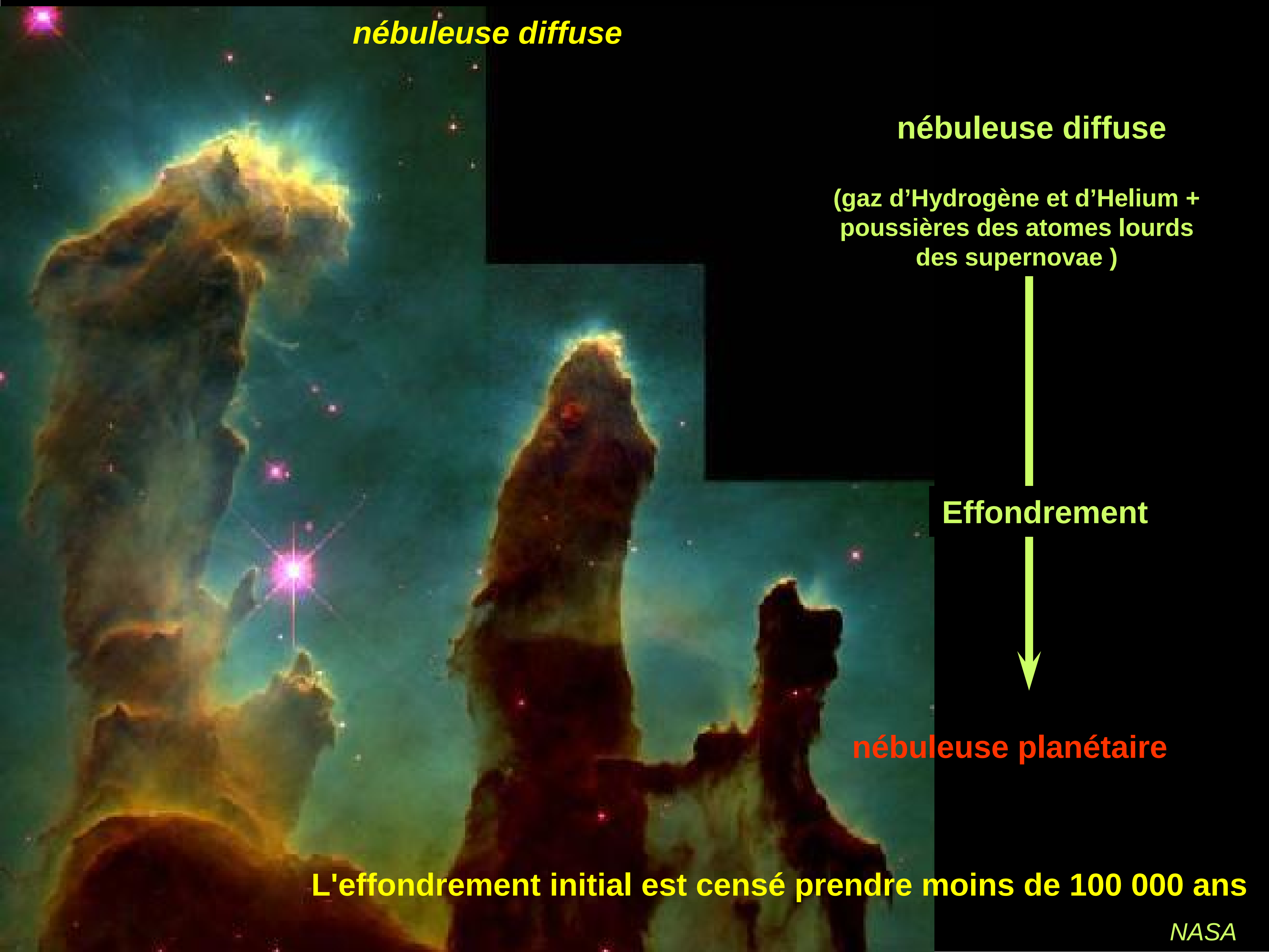
planétoïdes

protoplanète

planète

Agglomération de poussières et de gaz accompagnée de synthèse de molécules minérales




nébuleuse diffuse
nébuleuse diffuse
(gaz d’Hydrogène et d’Helium +
poussières des atomes lourds
des supernovae)
Effondrement
nébuleuse planétaire
L'effondrement initial est censé prendre moins de 100 000 ans
NASA

nébuleuse diffuse



NASA

nébuleuse planétaire

Planetary Nebula IC 418

(filtre vert (Sahai))



photo. émise le (7 septembre 2000), en fausses couleurs

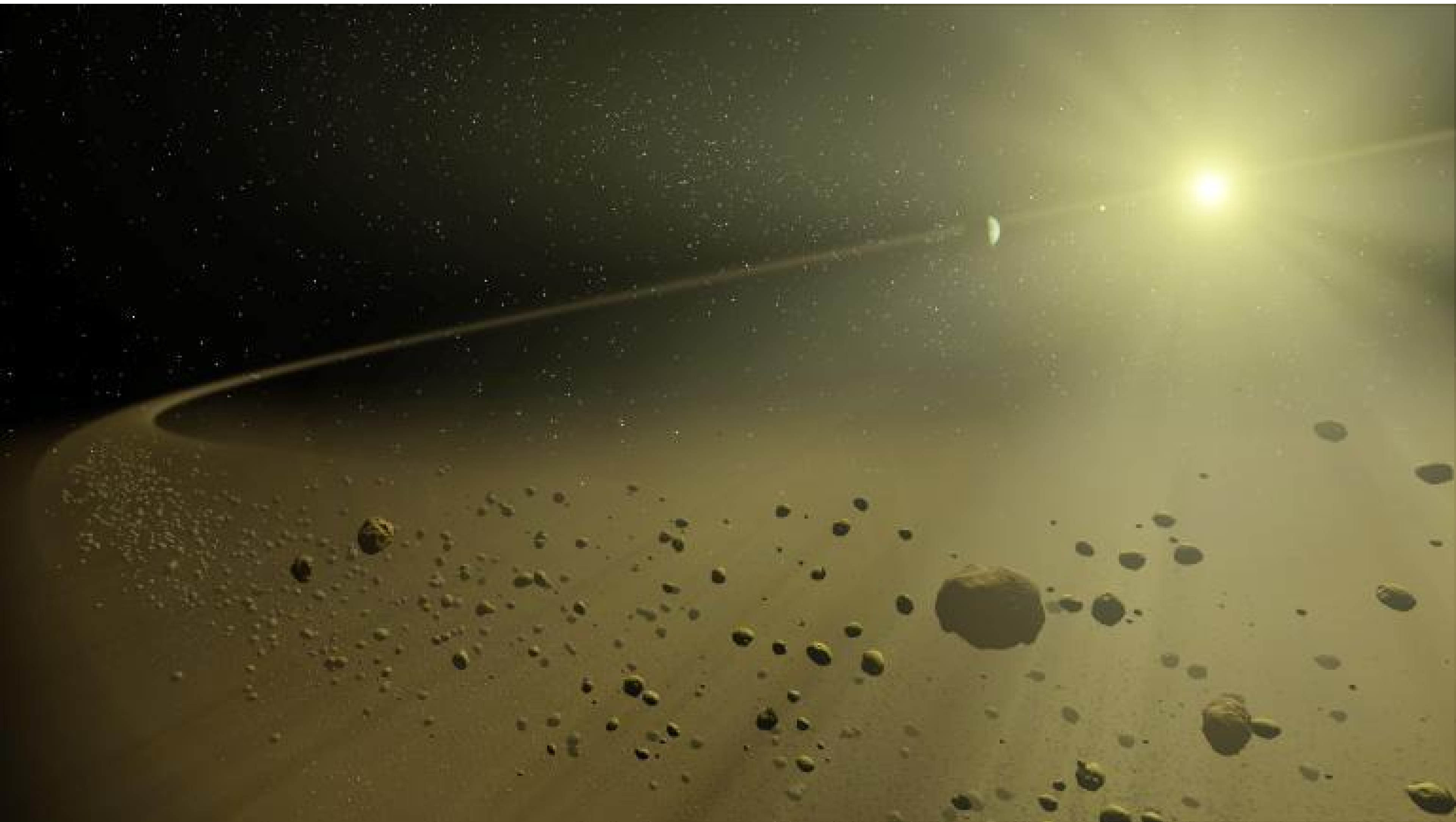
se situe dans la constellation du Lièvre à 2 000 al

Hubble Heritage

PRC00-28 • NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) • HST/WFPC2


Planetary Nebula NGC 3132
nébuleuse planétaire
Hubble Heritage
PRC98-39 • Space Telescope Science Institute • Hubble Heritage Team

RECONSTITUTION : PROTO ETOILE



NASA

RECONSTITUTION DE L'ALLURE DU DISQUE PROTOPLANETAIRE ET PROTO ETOILE

Source : Community > Scenery & Nature > Space

(fig.5)

2 TYPES D'ACCRETION :

Accrétion homogène



Accrétion hétérogène

HARDY

différenciation

RECONSTITUTION : ALLURE DE NOTRE PLANETE TERRE AU DEBUT DE SA FORMATION

La formation du système solaire peut durer 100 millions d’année



nébuleuse planétaire



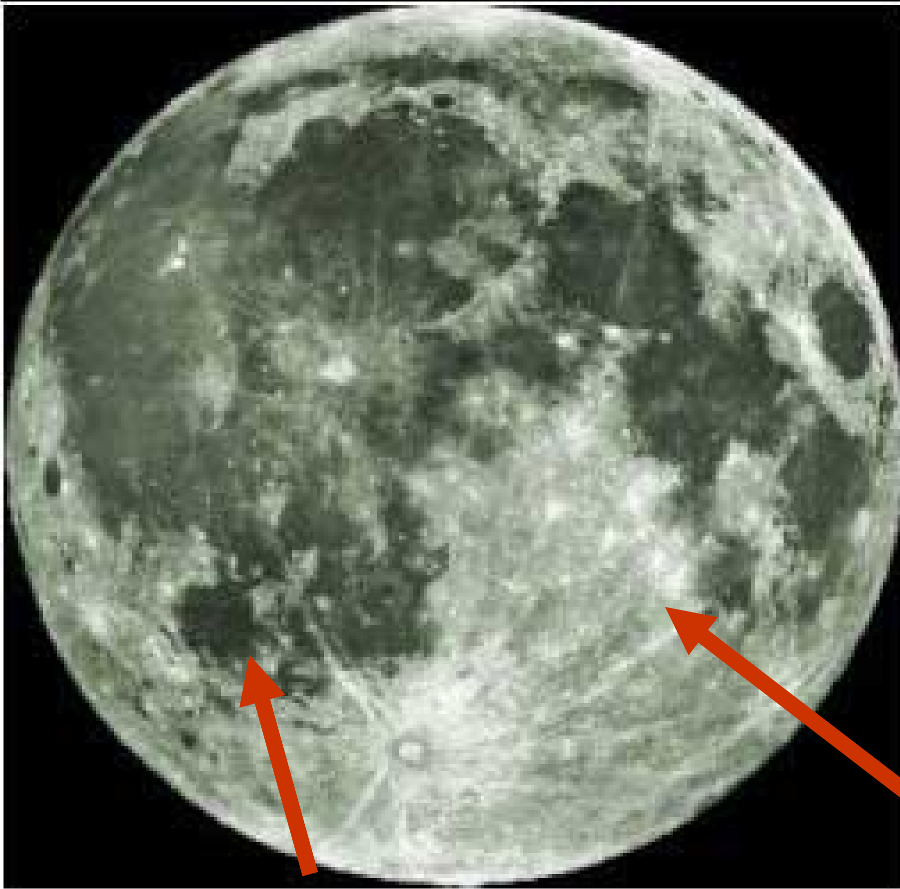
FIN

The Cat's Eye Nebula — NGC 6543 HUBBLESITE.org

Chapitre IV
LA LUNE

I – LES CARACTERES PHYSIQUES ET ASTRONOMIQUES DE LA LUNE

Forme : **- sphère presque parfaite**



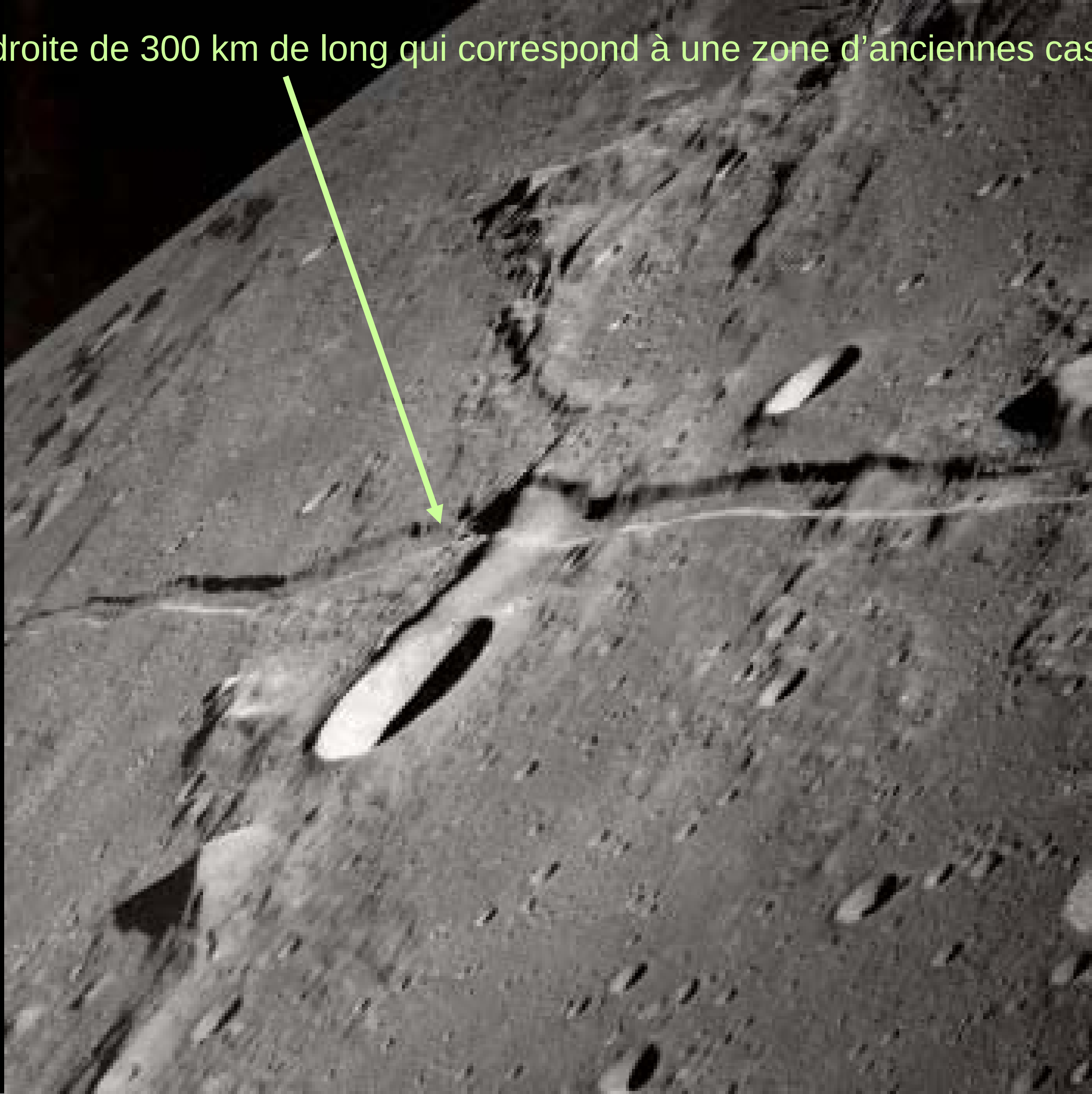


- zones sombres = *mare* **("** *mer* **")** = vastes plaines, lisses constituées de basaltes
Elles caractérisent la face visible de la Lune

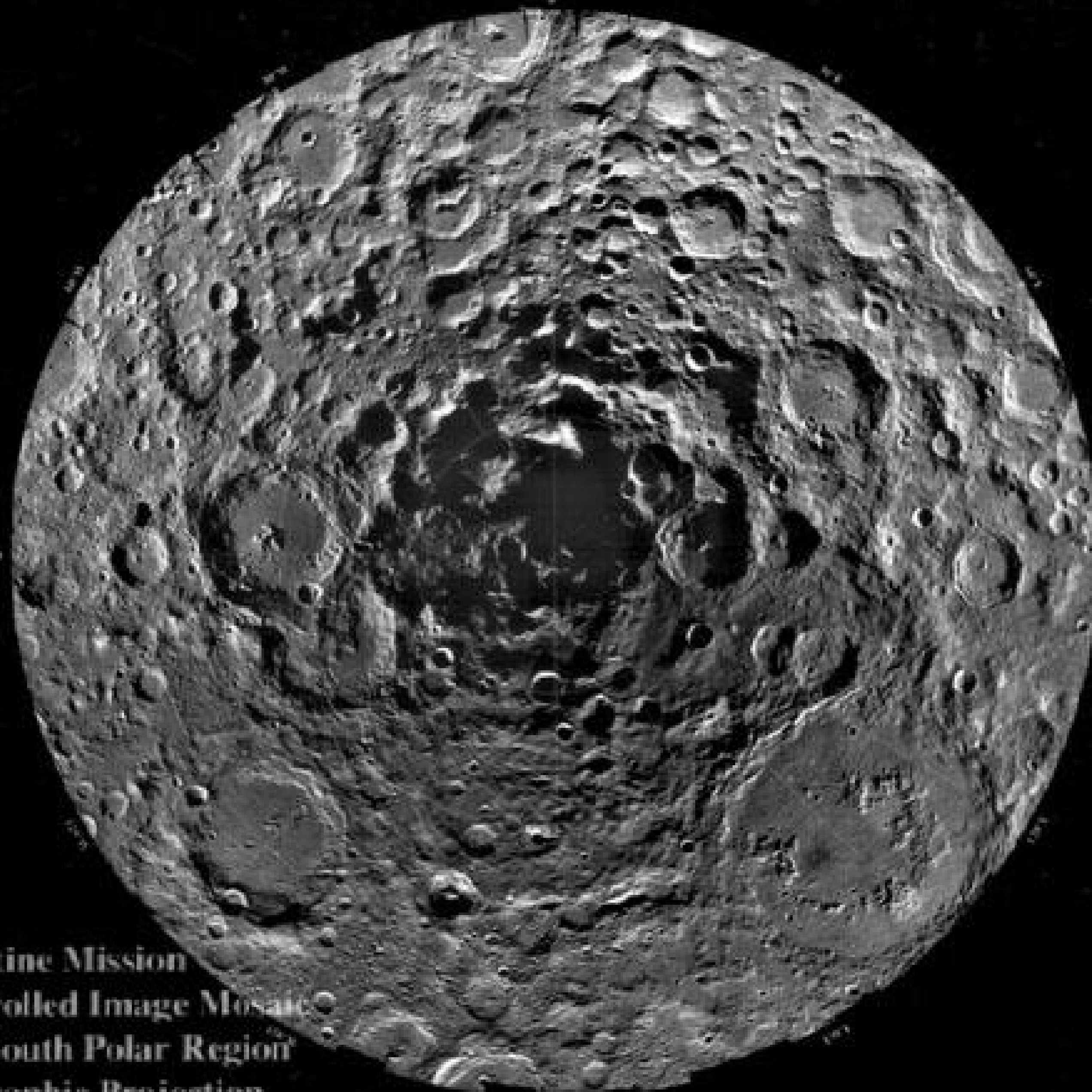
-zones claires = *terra* ("*continents*"), = cratères et de sommets qui résultent d'impacts de météorites
Bien développées sur la face cachée de la Lune

Un paysage du sol lunaire

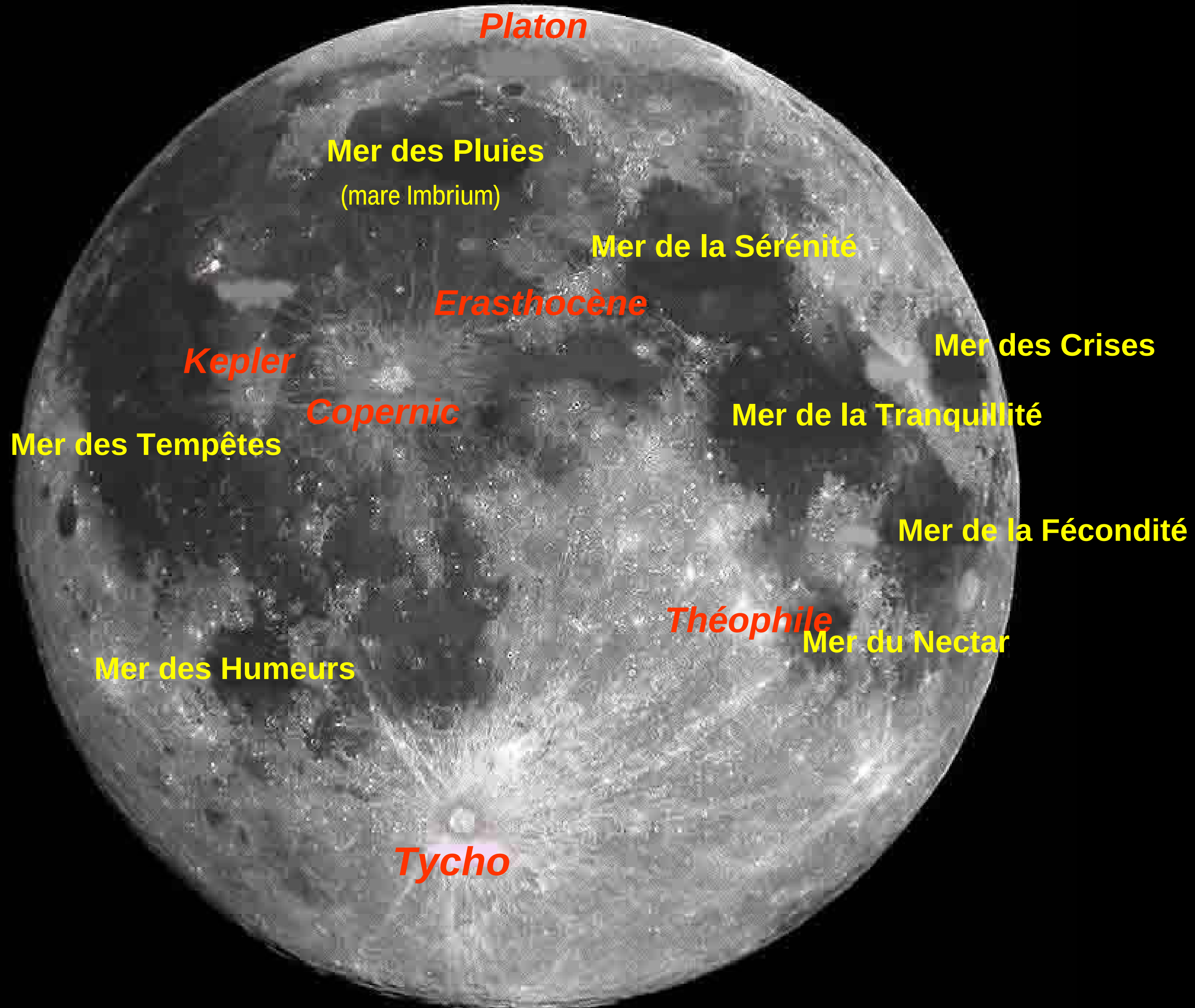



Crevasse droite de 300 km de long qui correspond à une zone d'anciennes cassures

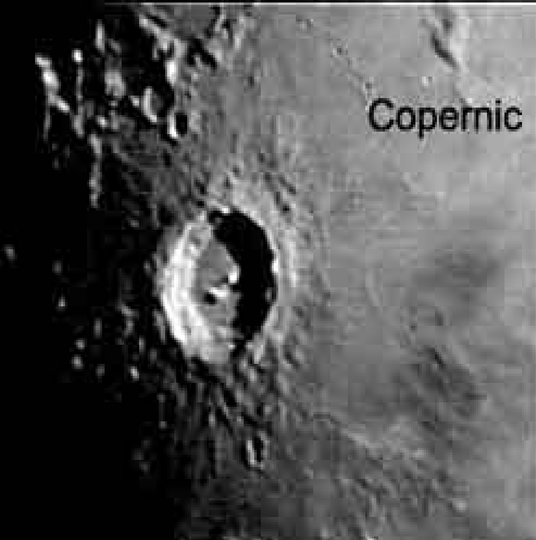
Pôle sud lunaires

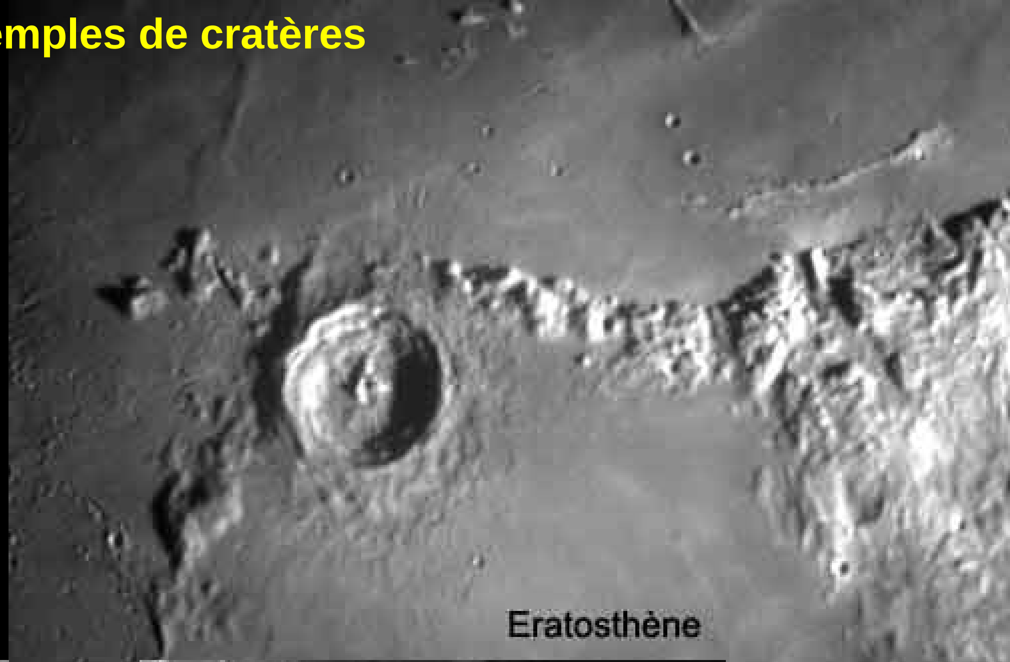


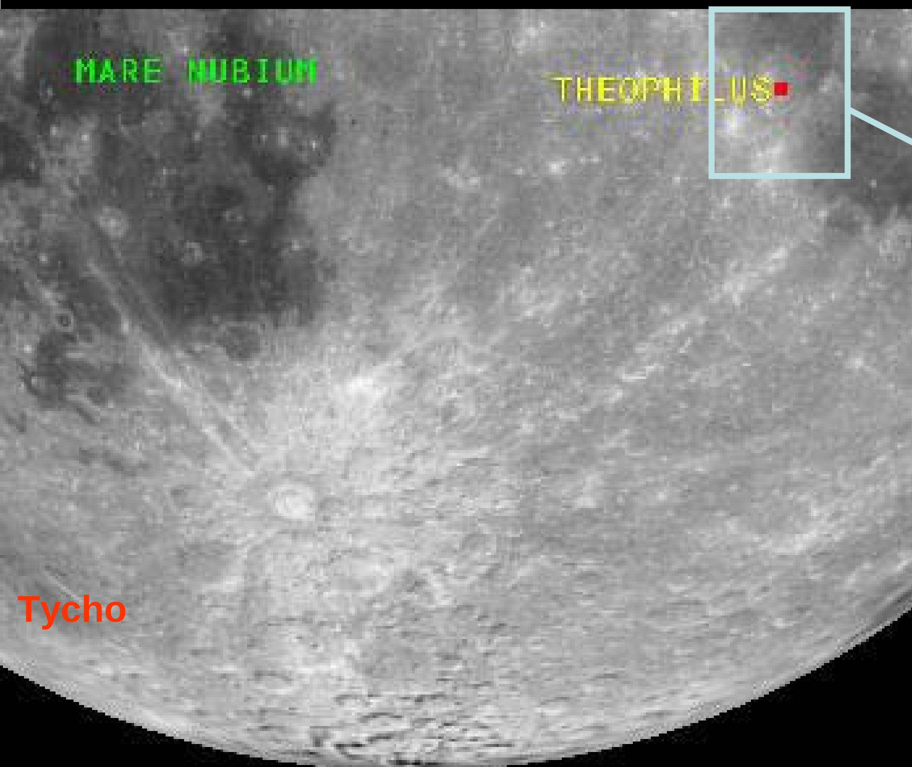
Carte simplifiée de la face visible de la Lune

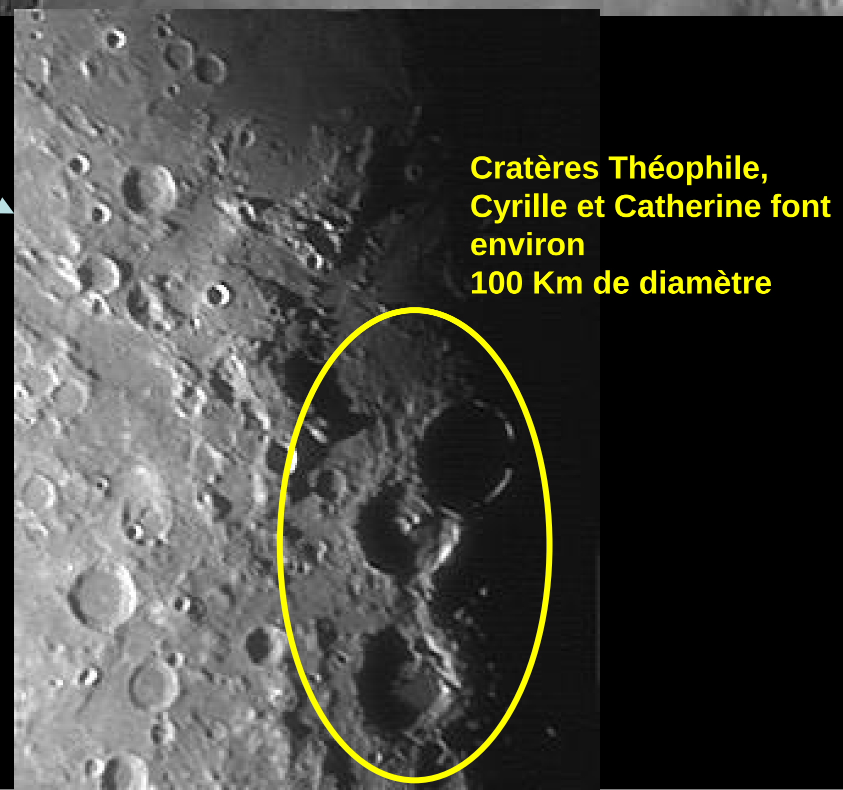


Quelques exemples de cratères









I – LES CARACTERES PHYSIQUES ET ASTRONOMIQUES DE LA LUNE

suite

Diamètre : 3476 km (3/11 du diamètre terrestre)

Masse : 7,3x1022 kg, soit environ 80 fois inférieure à la masse de la Terre.

Volume : 50 fois inférieur au volume terrestre.

Densité moyenne : 3,34 g/cm3 (celle de la Terre est de 5,515 g/cm3).

Pesanteur : six fois moins forte que sur la Terre.

Atmosphère : Pratiquement inexistante.

Température à la surface :
+125°C sur la partie éclairée par le Soleil
-175°C sur la partie obscure

Lumière : La Lune est éclairée par la lumière du Soleil, elle en réfléchit entre 7 et 10% au niveau des mers et de 11 à 18% dans les régions continentales.

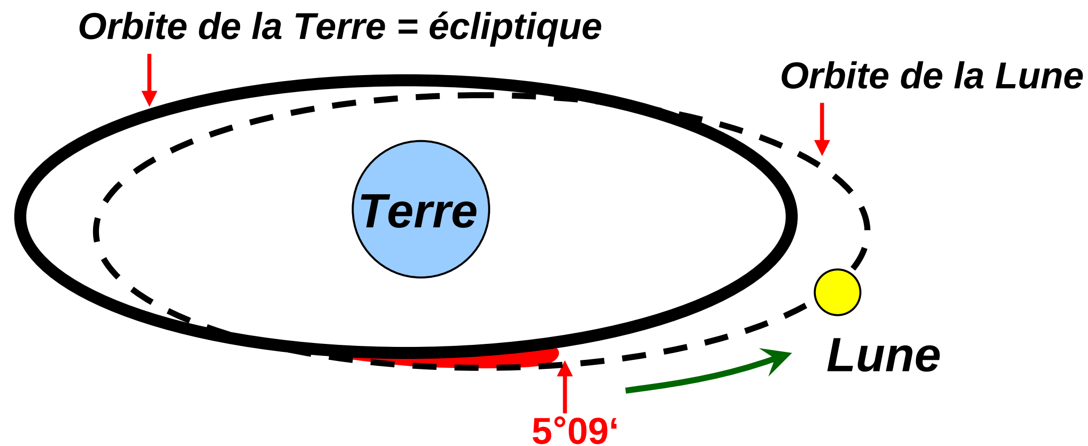
Distance Terre - Lune : 384.400km en moyenne

I – LES CARACTERES PHYSIQUES ET ASTRONOMIQUES DE LA LUNE

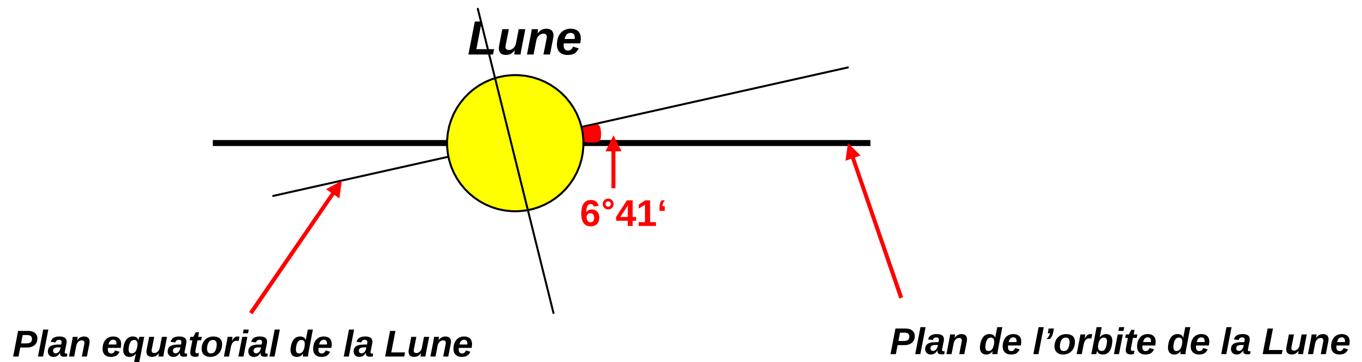
suite

Inclinaisons

- inclinaison de l'orbite de la Lune par rapport à l'écliptique 5°09'

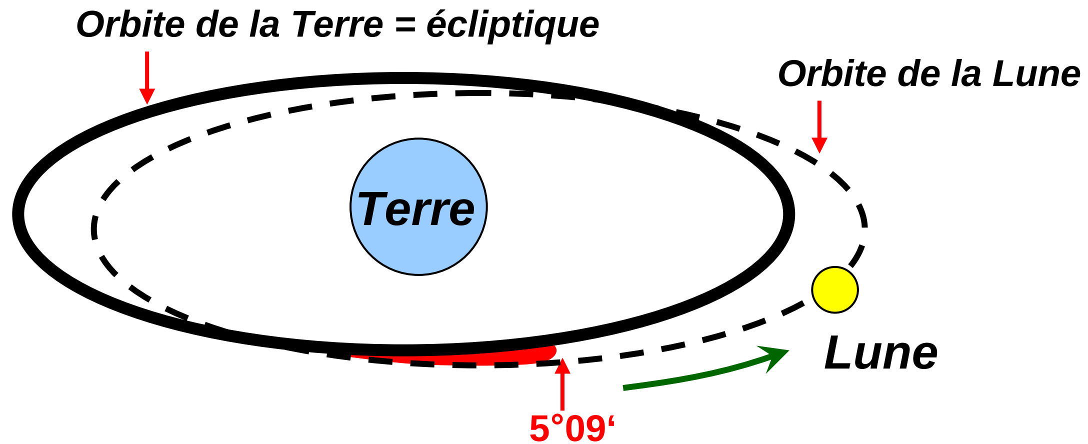


- inclinaison du plan équatorial de la Lune par rapport à son orbite 6°41'

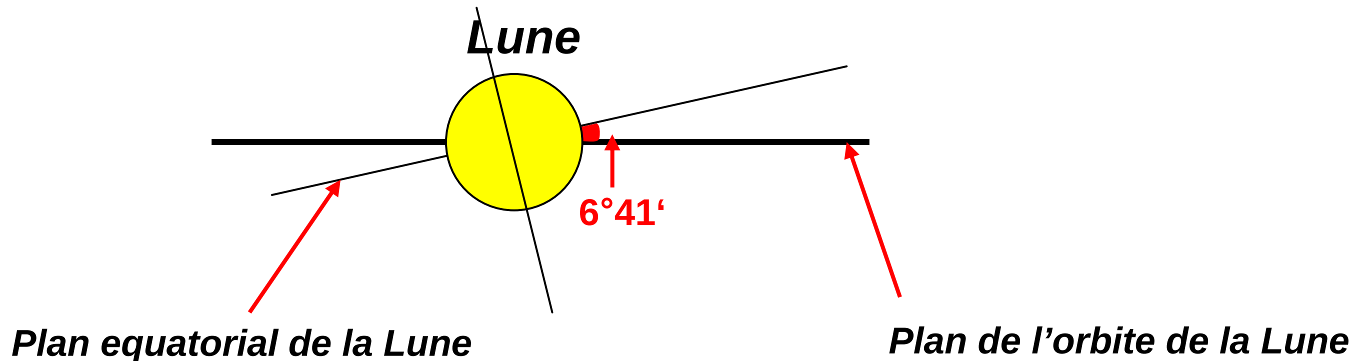


Inclinaisons

- inclinaison de l'orbite de la Lune par rapport à l'écliptique 5°09'



- inclinaison du plan équatorial de la Lune par rapport à son orbite 6°41'



I – LES CARACTERES PHYSIQUES ET ASTRONOMIQUES DE LA LUNE

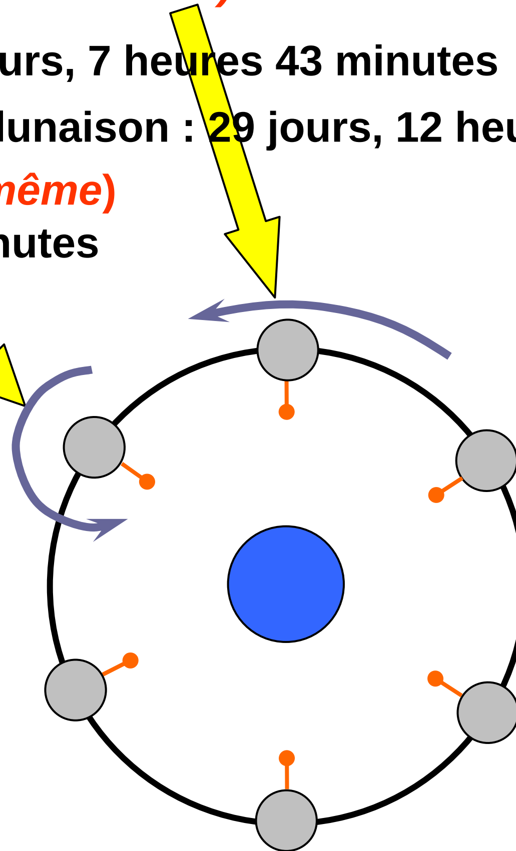
suite

Période de révolution (autour de la Terre)

- révolution sidérale : 27 jours, 7 heures 43 minutes
- révolution synodique ou lunaison : 29 jours, 12 heures 44 minutes

Période de rotation (sur elle-même)

- 27 jours, 7 heures 43 minutes



Autres particularités

- La Lune est, avec le Soleil, à l'origine des marées océaniques de la Terre
- La Lune présente toujours la même face à la Terre
- La lumière met environ une seconde pour parcourir la distance Terre / Lune
- La Lune s'éloigne de la Terre de 4,4cm par an. Cette vitesse d'éloignement est constante depuis l'Antiquité.

I – LES CARACTERES PHYSIQUES ET ASTRONOMIQUES DE LA LUNE

II – GEOLOGIE DE LA LUNE

1. - Pétrographie

Anorthosites

= roches plutoniques, claires, (feldspaths sodiques + pyroxènes + olivine

Norites

= roches riches en potassium et en phosphore; ayant une composition minéralogique gabbroïque riche en pyroxène calcique
Leur répartition est ponctuelle : au niveau des impacts des météorites sur le socle basaltique.

Basaltes

= roches volcaniques sombres, denses, épanchées sur des coulées superposées et très étendues en occupant les mares.

Régosol ou, *le Régolite*

= couche de poussière superficielle (1 à 10m) contenant des fragments de roches qui résultent de l'impact et de petites météorites.

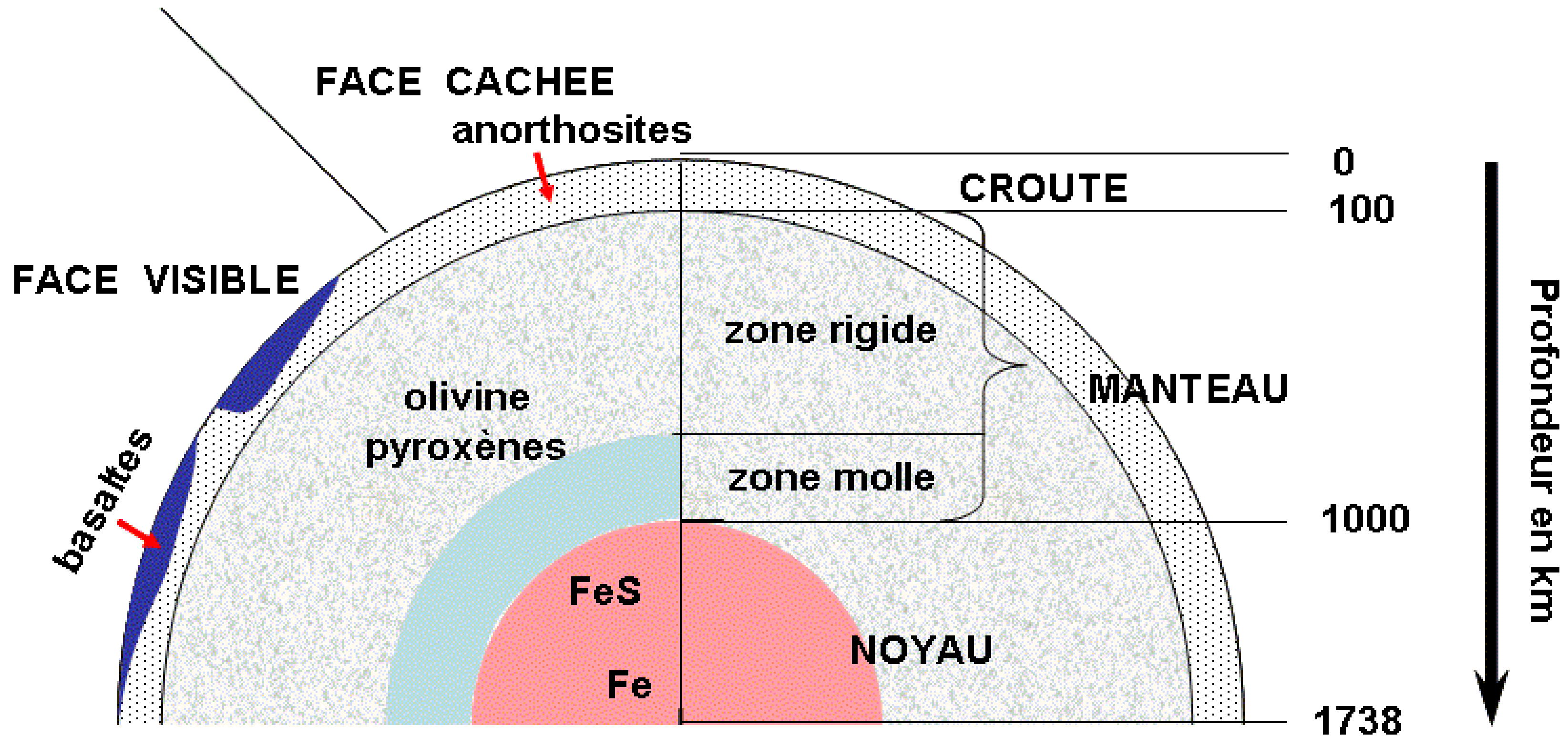
Leur âge s'établit entre 4000 et 4500 Ma.

Pas d'érosion, ni transport, ni transformation; mais contamination par le vent solaire

II – GEOLOGIE DE LA LUNE

suite

2. - Structure interne



3. - Sismicité

Séismes d'origines internes n'ont pas dépassé la magnitude 3 sur l'échelle de Richter.

4. – Champ magnétique

Champ magnétique résiduel en surface d'une extrême variabilité

III – RELATIONS TERRE - LUNE

1. - Les différentes phases d’une lunaison

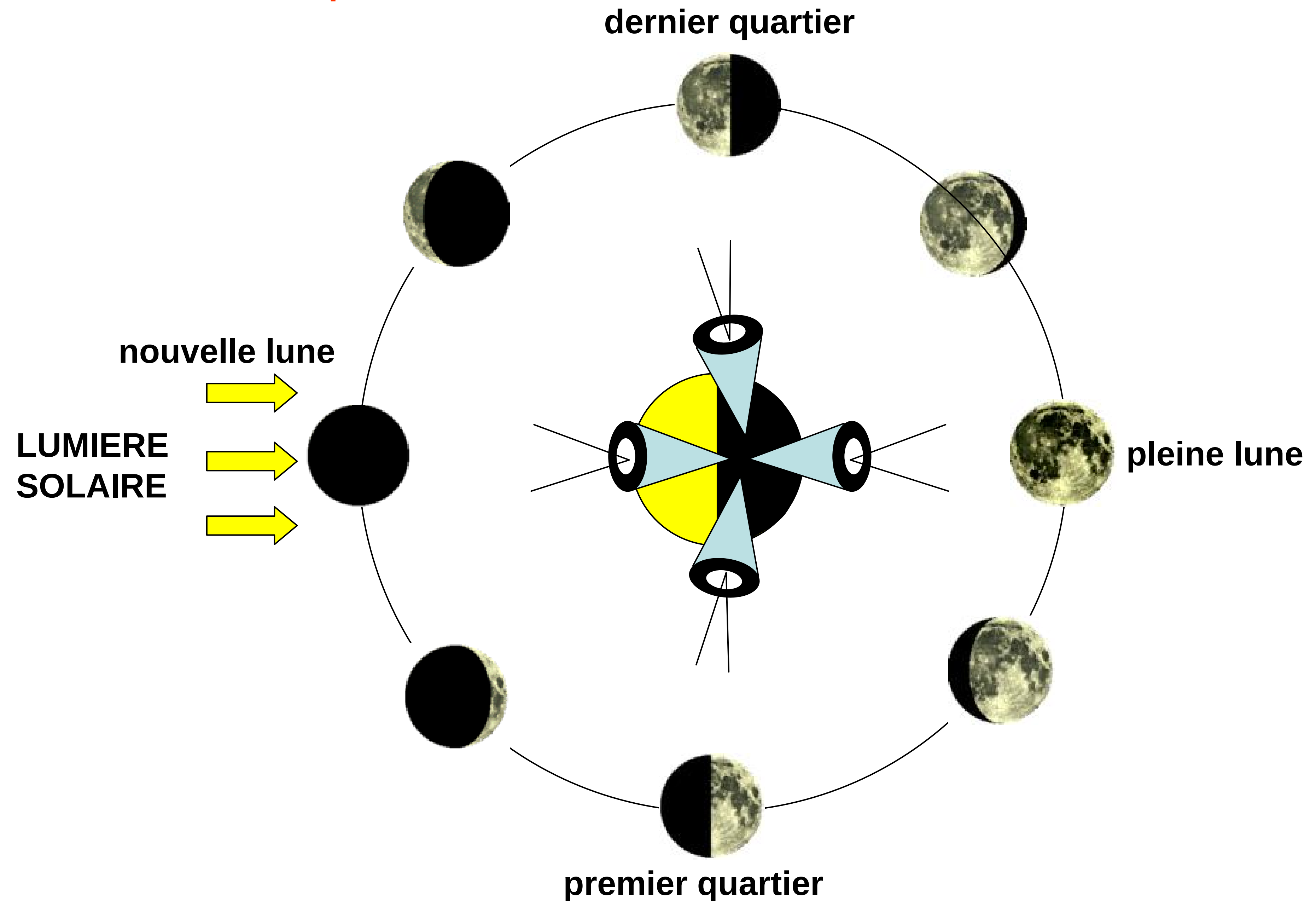
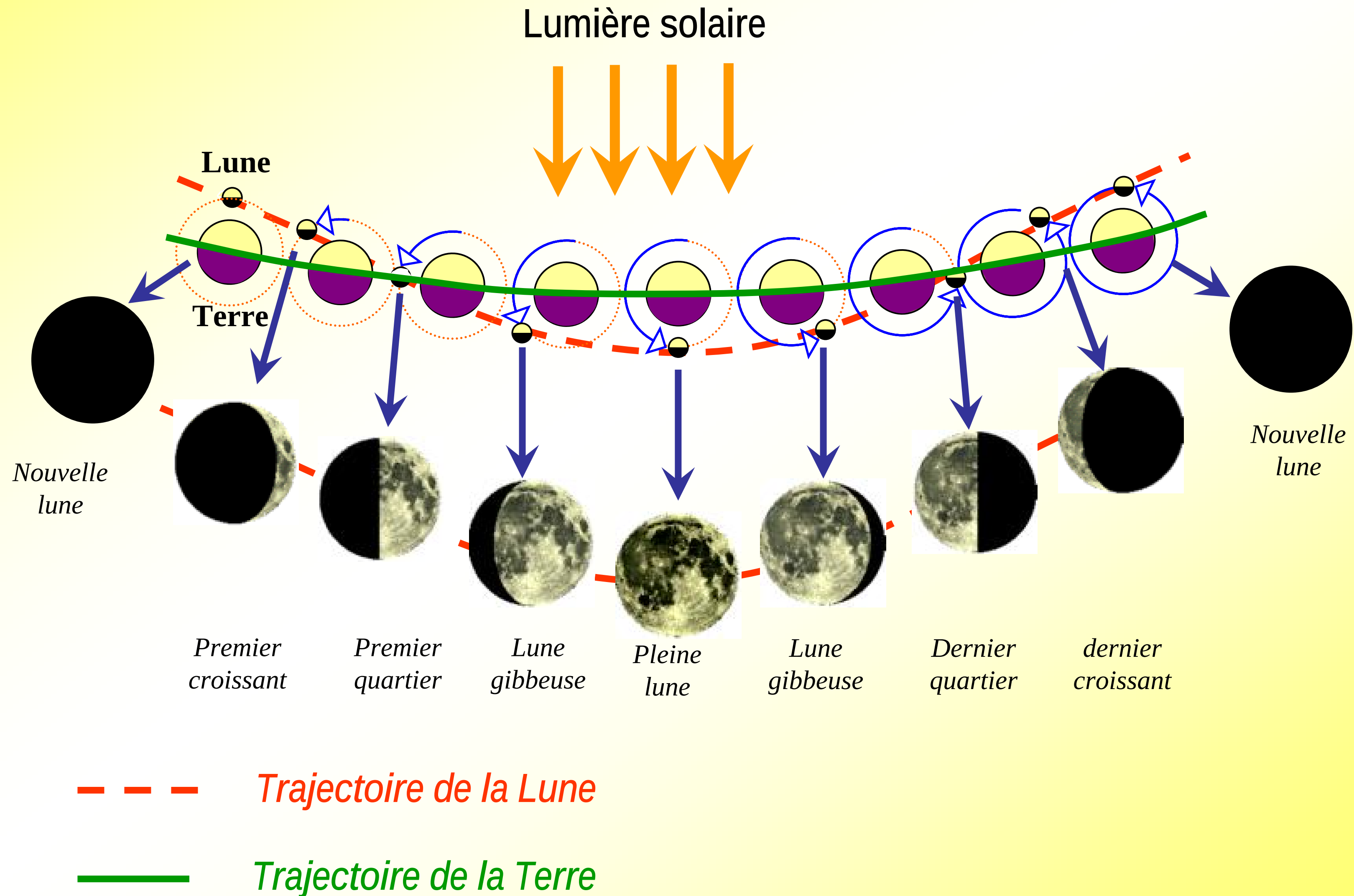
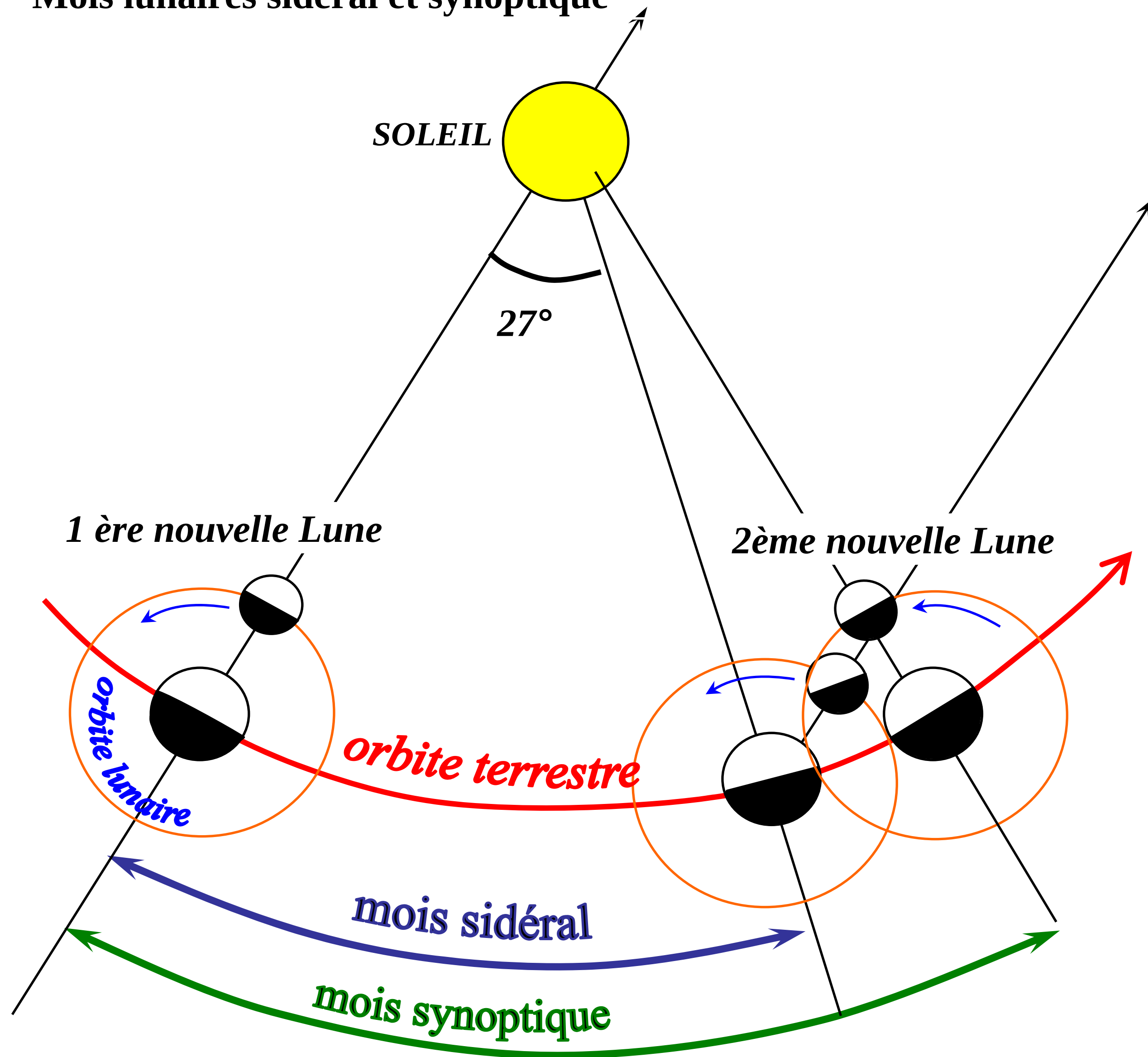


Fig.4 : Positions relatives de la Terre, de la Lune et du Soleil pendant un moins lunaire



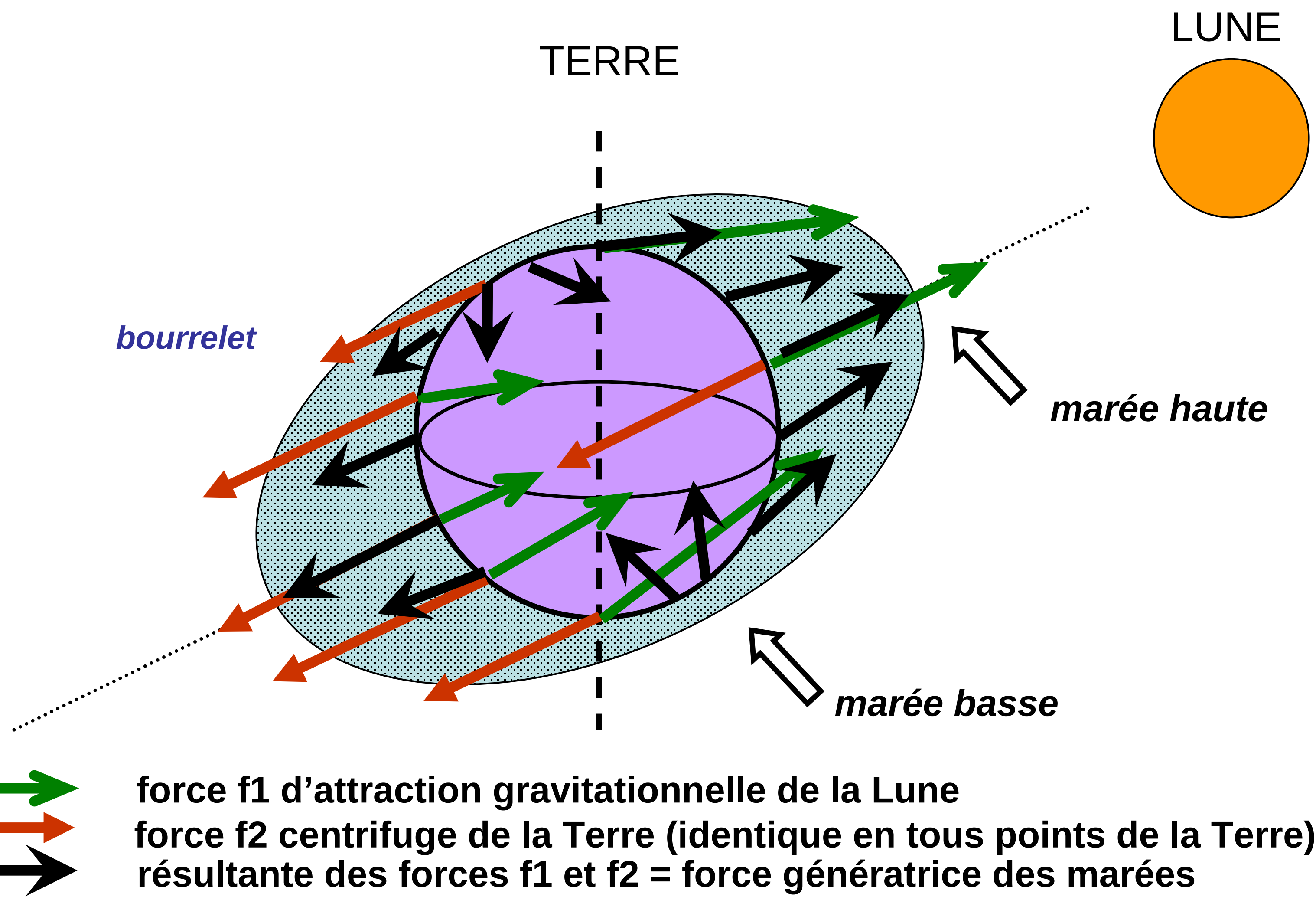


Mois lunaires sidéral et synoptique
SOLEIL
27°
1 ère nouvelle Lune
2ème nouvelle Lune
orbite lunaire
orbite terrestre
mois sidéral
mois synoptique

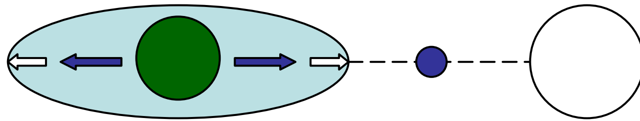
III – RELATIONS TERRE - LUNE

1. - Les différentes phases d'une lunaison

1. – Le mouvement des marées

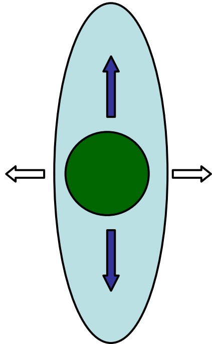


Le soleil est également responsable d'une partie du mouvement des marées. La force qu'il induit représente 45% de celle de la Lune



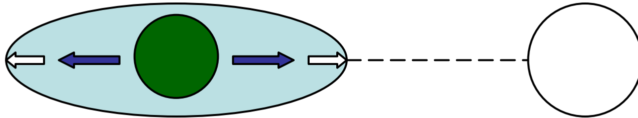
NOUVELLE LUNE
Les 3 astres sont alignés. Les forces s'additionnent.
Les marées sont importantes = marées de vive-eau



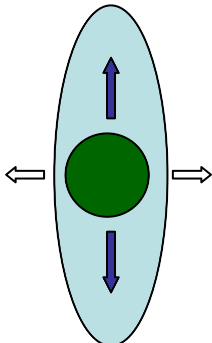


PREMIER QUARTIER
Les 3 astres forment un angle droit. Les forces se contrarient.
Les marées sont faibles = marées de morte-eau





PLEINE LUNE
Les 3 astres sont alignés. Les forces s'additionnent.
Les marées sont importantes
= marées de vive-eau



DERNIER QUARTIER
Les 3 astres forment un angle droit. Les forces se contrarient.
Les marées sont faibles = marées de morte-eau



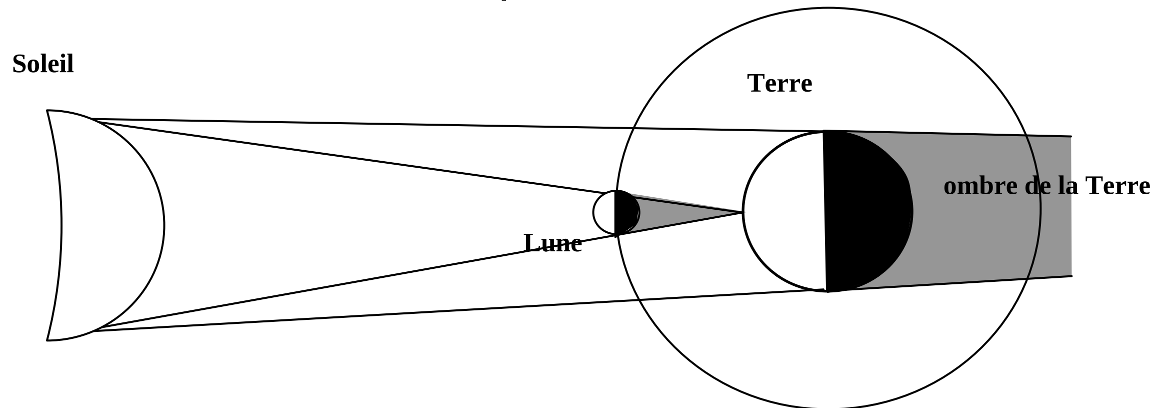
III – RELATIONS TERRE - LUNE

1. - Les différentes phases d'une lunaison

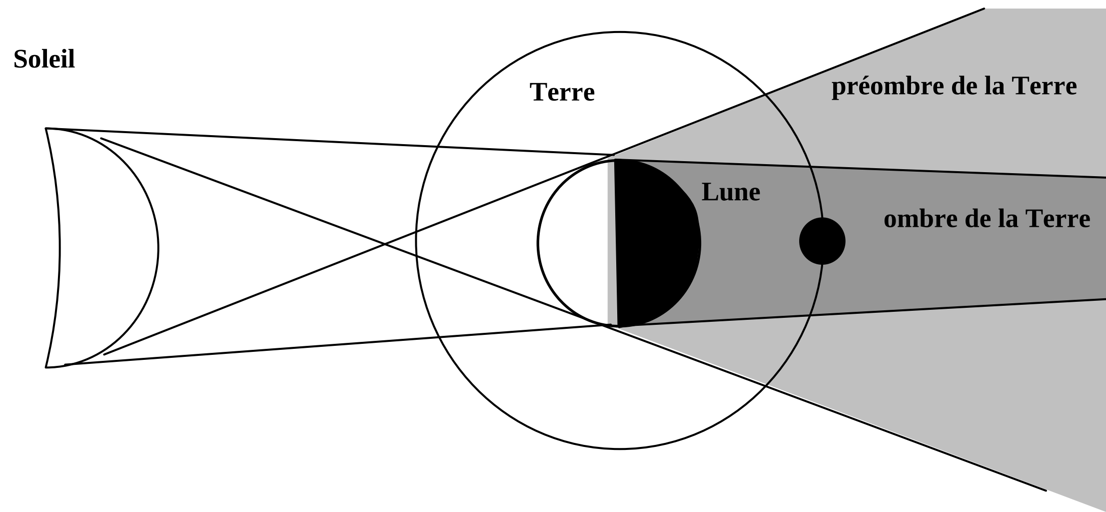
2. – Le mouvement des marées

3. – Les éclipses

Éclipses de Soleil : Lune s'interpose entre le Soleil et la Terre



Éclipses de Lune : Terre s'interpose entre le Soleil et la Lune



IV. – NAISSANCE DE LA LUNE



Hypothèse retenue

Similitudes entre les roches lunaires et terrestres laisse à penser que les deux astres ont le même âge et se seraient formés en des lieux voisins du système solaire.

Source : http://www.astrosurf.com/

Périodes d'évolution de la Lune

cinq grandes périodes

actuel

Ère Copernicienne

refroidissement

formation de nouveaux cratères comme *Copernic* (810 ma) ou *Tycho* (109 ma)

grande influence gravitationnelle de la Terre et action de rares météorites

2.100 ma

Ère Eratosthènienne

refroidissement et fin d'émission de basaltes

bombardement par d'importantes météorites

formation de cratères important tels *Ératosthène et Théophile.*

3.150 ma

Ère Imbrienne

astéroïde d'une centaine de kilomètres de diamètre qui en percutant la Lune à creuser le bassin de *la mer des pluies*

fusion et différenciation magmatique ➔ émission de basaltes

3.580 ma

Ère Nectarienne

brève période " (70 ma) refroidissement

bombardement par de gros météorites

naissance à *la mer du Nectar* et *la mer de la fécondité*

3.920 ma

Ère prénectarienne

phase chaude au début

différenciation magmatique ➔ formation du manteau lunaire

formation de *la mer de la tranquillité*

4.600 ma

Périodes d'évolution de la Lune

cinq grandes périodes

actuel

Ère Copernicienne

refroidissement

formation de nouveaux cratères comme *Copernic* (810 ma) ou *Tycho* (109 ma)

grande influence gravitationnelle de la Terre et action de rares météorites

2.100 ma

Ère Eratosthènienne

refroidissement et fin d'émission de basaltes

bombardement par d'importantes météorites

formation de cratères important tels *Ératosthène et Théophile.*

3.150 ma

Ère Imbrienne

astéroïde d'une centaine de kilomètres de diamètre qui en percutant la Lune à creuser le bassin de *la mer des pluies*

fusion et différenciation magmatique ➔ émission de basaltes

3.580 ma

Ère Nectarienne

brève période " (70 ma) refroidissement

bombardement par de gros météorites

naissance à *la mer du Nectar* et *la mer de la fécondité*

3.920 ma

Ère prénectarienne

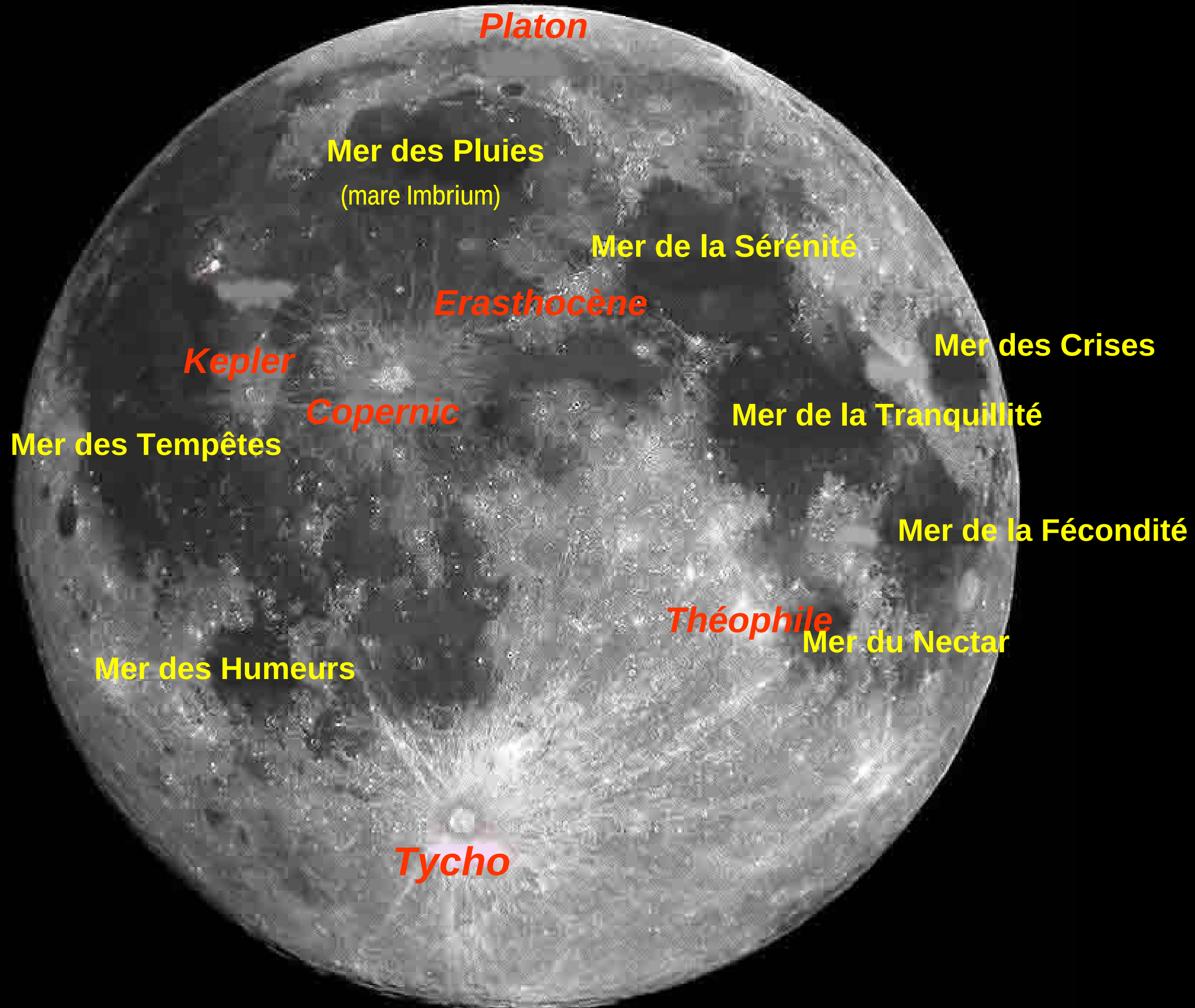
phase chaude au début

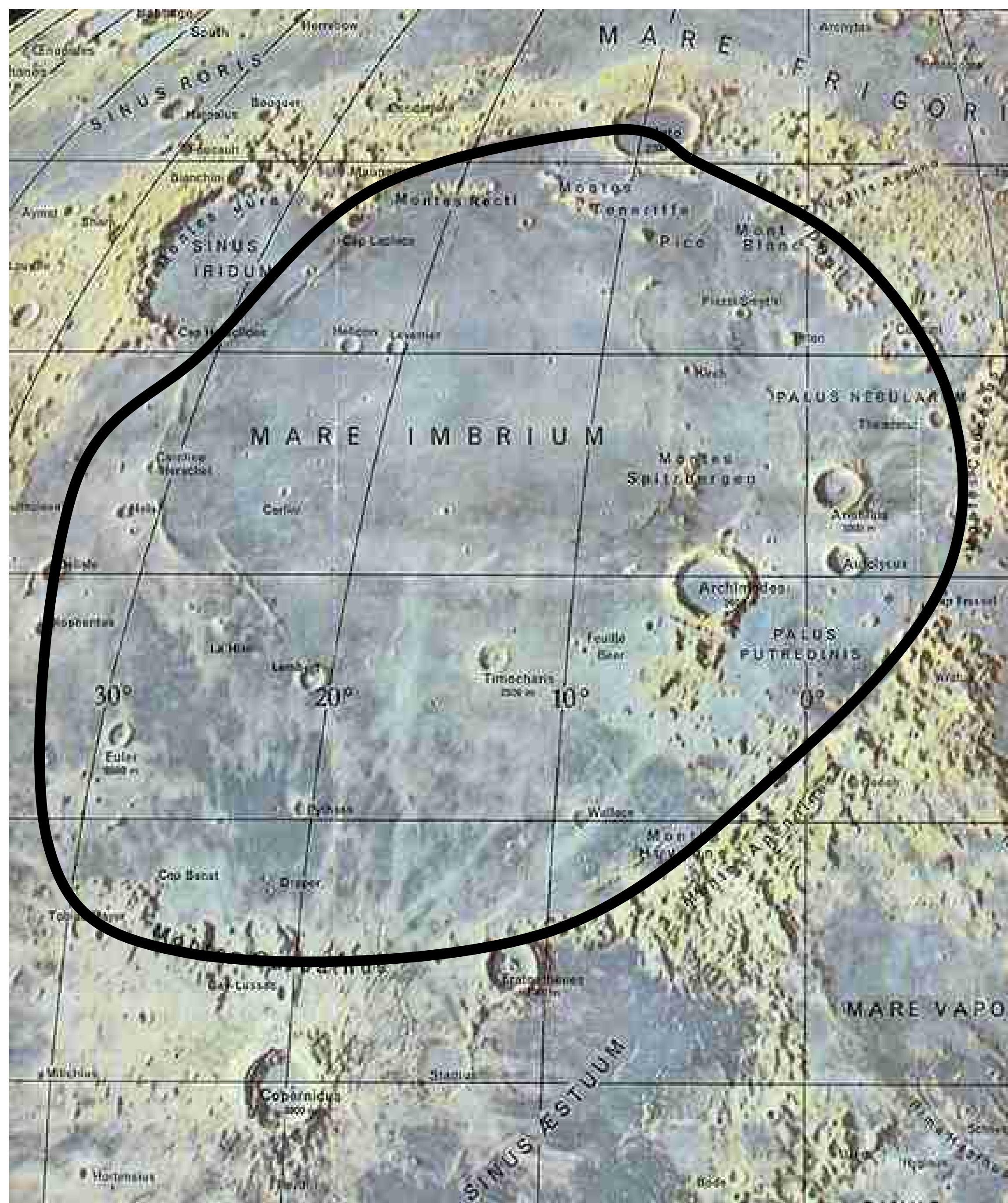
différenciation magmatique ➔ formation du manteau lunaire

formation de *la mer de la tranquillité*

4.600 ma

Carte simplifiée de la face visible de la Lune





M A R E
F R I G O R I
SINUS RORIS
South
Archytas
Bouguer
Harpalus
Foucault
Bianchini
Montes Jura
SINUS IRIDUM
Cap Laplace
Montes Recti
Montes Teneriffe
Pico
Mont Blanc
Piazzi Smyth
Helicon
Le Verrier
Kirch
PALUS NEBULARUM
M A R E   I M B R I U M
Montes Spitzbergen
Caroline Herschel
Carlini
Archimedes
Autolycus
Aristillus
Feuille
Beer
PALUS PUTREDINIS
La Hire
Lambert
Timocharis
30°
20°
10°
0°
Euler
Pytheas
Wallace
Cap Bessel
Draper
Eratosthenes
Gay-Lussac
MARE VAPOR
Copernicus
Stadius
SINUS ÆSTUUM
Milichius
Hortensius

FIN